

# VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN M O N I S T E S A R J A

**Nro 591**

**MAAPERÄN VAIKUTUS KOILLISMAAN  
VESISTÖJEN HAPPAMOITUMISEEN**

**Jouni Näpänkangas**



**VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA**

**Nro 591**

**MAAPERÄN VAIKUTUS KOILLISMAAN  
VESISTÖJEN HAPPAMOITUMISEEN**

**Jouni Näpänkangas**

Vesi- ja ympäristöhallitus  
Oulun vesi ja ympäristöpiiri  
Helsinki 1995

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa Oulun vesi- ja ympäristöpiiristä, puh. 981-3158 300

ISBN 951-47-9137-1

ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, Helsinki 1995

## KUVAILULEHTI

Julkaisija  
Vesi- ja ympäristöhallitus

Julkaisun päivämäärä  
Tammikuu 1995

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)  
Jouni Näpänkangas

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)  
Maaperän vaikutus Koillismaan vesistöjen happamoitumiseen  
( Jordmänen och förurning av vattendragen i nordöstra delen av Österbotten)

Julkaisun laji  
Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

#### Tiivistelmä

Tutkimuksessa käsitellään moreenin hienoaineksen geokemiallisen koostumuksen vaikutusta Pudasjärven, Taivalkosken ja Kuusamon vesistöjen happamoitumisherkkyyteen. Tutkimusaineistona käytettiin 227:n alle 10 km<sup>2</sup>:n laajuisen järven vedenlaatutietoja sekä 4242 moreeninäytteen analyysituloksia. Tavoitteena oli tuottaa alueellista tietoa happamoitumiselle alttiiden maaperäalueiden ja vesistöjen jakaantumisesta tutkimusalueella sekä niiden sijoittumiseen vaikuttavista tekijöistä.

Korkeimmat moreenin hienoaineksen emäskationipitoisuudet sijoittuvat Kuusamon pohjoisosien emäksisten kivilajien vallitsemille kallioperäalueille. Emäskationisumman, pH:n ja alkaliniteetin arvot olivat läpivirtausjärvissä latvajärviä ja suljettuja järviä korkeampia. Happamoitumisherkkiä järviä oli kaikissa järvityypeissä. Happamoituneiksi voitiin luokitella vain suljettuja järviä ja latvajärviä. Happamoituneet ja happamoitumisherkät järvet sijoittuivat Pudasjärvelle ja Taivalkoskelle. Lähes kaikilla tutkituilla Kuusamon järvillä oli hyvä puskurikyky. Happamoituneiden ja happamoitumisherkkien järvien emäskationipitoisuudet olivat alhaisempia kuin hyvin puskuroitujen järvien vastaavat pitoisuudet ja niiden valuma-alueilla oli vähemmän emäskationeja kuin erittäin hyvän puskurikyvyn omaavien järvien valuma-alueilla. Hyvän puskurikyvyn omaavilla järvillä valuma-alueet olivat laajempia suhteessa järven kokoon kuin happamoituneilla ja happamoitumisherkillä järvillä. Orgaanisen kokonaishiilen (TOC) pitoisuudet olivat korkeimpia pienissä järvissä, joilla oli suuri valuma-alue. Korkeimmat orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet sijoittuivat Pudasjärven suovaltaisille ja reliefiltään tasaisille alueille.

Tutkimusalueen järvein happamuuden säätelyssä bikarbonaatti oli tärkein anioni. Humuspitoisten järvien happamoitumisherkkyys määräytyi valuma-alueen happamoitumisherkkyyden ja huuhtoutuvan orgaanisen aineen määrän yhteisvaikutuksesta. Kirkkaiden järvien happamoitumisherkkyys määräytyi pääasiallisesti valuma-alueen maaperän happamoitumisherkkyyden ja vähäisessä määrin happamoittavan laskeuman vaikutuksesta. Pienen valuma-alueen omaavat humuspitoiset ja kirkkaat latvajärvet ja suljetut järvet osoittautuivat happamoitumisherkemmiksi kuin läpivirtausjärvet.

#### Asiasanat (avainsanat)

Maaperä, happamoituminen, happamoitumisherkkyys, geokemia, vedenlaatu, valuma-alue

#### Muut tiedot

##### Sarjan nimi ja numero

Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 591

##### ISBN

951-47-9137-1

##### ISSN

0783-3288

##### Kokonaissivumäärä

49

##### Kieli

Suomi

##### Hinta

24,40 mk

##### Luottamuksellisuus

Julkinen

##### Jakaja

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri  
PL 124 90101 Oulu  
puh. 981-3158300

##### Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus  
PL 250  
00101 Helsinki

## PRESENTATIONSBLAD

*Utgivare*  
Vatten- och miljöstyrelsen

*Utgivningsdatum*  
Januari 1995

*Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)*  
Jouni Näpänkangas

*Publikation (även den finska titeln)*  
Jordmånen och försurning av vattendragen i nordöstra delen av Österbotten  
(Maaperän vaikutus Koillismaan vesistöjen happamoitumiseen)

*Typ av publikation*  
Forskningsrapport

*Uppdragsgivare*

*Datum för tillsättandet av organet*

*Publikationens delar*

#### Referat

Denna forskningsrapport handlar om försurningskänslighet av vattendragen i Pudasjärvi, Taivalkoski och Kuusamo kommuner samt inverkan av moräfinmaterialalets geokemiska sammansättning på detta. Vattenundersökningarna omfattade 227 sjöar, arealen mindre än 10 km<sup>2</sup> och moränanalyser 4242 prov. Syftet var att ge regionalt material om försurningskänsliga arealen, jordmån och vattendrag samt beakta faktorer, som bestämmer dessa förläggningar.

De högsta alkaliska katjonhalter låg i norra delen av Kuusamo, där berggrundet domineras av alkaliska stenarter. I genomströmningsjöarna var summan av alkaliska katjoner samt pH och alkalinitet högre än i slutna sjöar. Alla sjötyper omfattade försurningskänsliga sjöar, men bara slutna sjöar och toppsjöar, som låg i källområdena kunde klassificeras försurade. Mesta delen av försurade eller försurningskänsliga sjöar ligger i Pudasjärvi och Taivalkoski. Nästan alla sjöar i Kuusamo hade en bra buffertkapacitet. I avrinningsområden med försurade genomströmningsjöar och slutna sjöar fanns det lägre halt av alkaliska katjoner än i sådana avrinningsområdena, som hade sjöar med mycket bra buffertkapacitet. Sjöar med större avrinningsområden i jämförelse med sjöareal hade också bättre buffertkapacitet. Totalt organiskt kol (TOC) -halten var högsta i små sjöar med stort avrinningsområde. De högsta TOC-halterna hade sjöar, som ligger i jämna myrrika arealer i Pudasjärvi.

Bikarbonat var den viktigaste anionen som reglerade försurningsprocessen i undersökningsområdet. Försurningskänsligheten av humushaltiga sjöar reglerades i samverkan av avrinningsområdets karaktär och mängden av urlakade organiska ämnen. Försurningskänsligheten av klara sjöar reglerades huvudsakligen av jordmånen i avrinningsområdet samt i ringa mån också av nedfallande försurande stoft. Humushaltiga sjöar samt klara toppsjöar och slutna sjöar med små avrinningsområden visade sig vara mera försurningskänsliga än genomströmningsjöar i området.

#### Sakord (nyckelord)

Jordmån, försurning, försurningskänslighet, geokemi, vattenkvalitet, avrinningsområde

#### Ovriga uppgifter

*Seriens namn och nummer*

Vatten- och miljöstyrelsens duplikatserie nr 591

*ISBN*

951-47-9137-1

*ISSN*

0783-3288

*Sidantal*

49

*Språk*

Finska

*Pris*

24,40 mk

*Sekretessgrad*

Offentlig

*Distribution*

Uleåborgs vatten- och miljödistrikt  
PL 124 90101 Oulu  
puh.981-3158300

*Förlag*

Vatten- och miljöstyrelsen  
PB 250  
00101 Helsingfors

## ALKUSANAT

Tutkimus on toteutettu Oulun vesi- ja ympäristöpiirissä suoritettun valtionhallinnon harjoittelun yhteydessä kesällä 1994. Työn ohjauksesta vastasivat tutkimuspäällikkö Erkki Alasaarela, biologi Anneli Ylitolonen sekä erikoistutkija, FT Kaisa Heikkinen. Kiitän heitä monista ideoista ja työn kaikissa vaiheissa saamastani tuesta ja ohjauksesta.

Kiitokset myös vedenlaatuaineiston poimineelle toimialasihteeri Sinikka Karvoselle sekä vedenlaatu- ja maaperäaineistojen kokoamisessa ja käsittelyssä avustaneelle tekn.yo. Harri Kinnuselle. Vaimolleni Ritvalle kiitokset avusta aineistojen tallennuksessa sekä tuesta ja kärsivällisyydestä työn aikana.

Oulussa 19.7.1994

Jouni Näpänkangas





# SISÄLLYS

ALKUSANAT.....	5
1 JOHDANTO.....	9
2 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	10
2.1 Maaperäaineisto.....	10
2.2 Järviaineisto.....	11
3 TUTKIMUSALUEEN KUVAUS.....	14
3.1 Kallioperä.....	14
3.2 Maaperä.....	16
4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	16
4.1 Moreenin hienoaineksen alkuainepitoisuudet.....	16
4.2 Maaperän happamoitumisherkkyys.....	19
4.3 Tutkimusjärvien vedenlaatu.....	23
4.3.1 Emäskationipitoisuus.....	24
4.3.2 Humuksen vaikutus vesistöjen happamuuteen.....	28
4.3.3 Sulfaattipitoisuus.....	31
4.4 Valuma-alueen ominaisuuksien vaikutus järvien puskurikykyyn.....	31
4.4.1 Valuma-alueen happamoitumisherkkyys.....	31
4.4.2 Valuma-alueen pinta-ala.....	32
4.6 Happamuuden alkuperä.....	34
4.7 Kuntakohtainen tarkastelu.....	37
5 YHTEENVETO.....	38
KIRJALLISUUS.....	40
LIITTEET.....	52
1 Koillismaan moreenin hienoaineksen kuningasvesiliukoiset alkuaine- pitoisuudet verrattuna muun Pohjois-Suomen vastaaviin pitoisuuksiin.....	44
2 Kemiallisten muuttujien mediaanit eri järvityypeillä ja koko aineistolla.....	45
3 Kemiallisten muuttujien vaihteluvälit ja mediaanit eri järvityypeillä.....	46
4 Tutkimusjärvien kemiallisten muuttujien mediaaniarvot kunnittain.....	47
5 Järvien kemiallisten muuttujien mediaanit Koillismaalla, Pohjois-Suomessa ja koko maassa.....	48
6 Bikarbonaatin, orgaanisen anionin ja sulfaatin merkitys tutkimusalueen järvien happamuuden säätelyssä.....	49



# 1 JOHDANTO

Fossiilisia polttoaineita käyttävästä teollisuudesta, energiantuotannosta, liikenteestä ja maataloudesta peräisin olevat rikki-, typpi- ja ammoniakkipäästöt aiheuttavat monia ympäristöongelmia, joista merkittävimpiä ovat maaperän ja vesistöjen happamoituminen. Päästöt kulkeutuvat ilmajvirtausten mukana pitkiä matkoja ja sekoittuvat ilmassoihin käyden läpi erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia muuttumis-reaktioita. Fossiilisten polttoaineiden käytön voimakas kasvu viimeisten 20-30 vuoden aikana on johtanut happamoitusvaurioiden lisääntymiseen erityisesti Pohjois-Amerikan ja Pohjois-Euroopan herkillä alueilla (esim. Forsius 1987, Kämäri 1984).

Skandinaviassa vesistöjen happamoituminen on edennyt pisimmälle Norjassa, missä happamoitumisen aiheuttamat biologiset vauriot ovat olleet havaittavissa jo 1950-luvulta lähtien. Noin 70 % Norjan eteläosien herkeistä järivistä on menettänyt puskurikykyä täysin (Henriksen ym. 1988). Ruotsissakin arvioidaan yli 15 %:n kaikista yli hehtaarin kokoisista järivistä happamoituneen ja noin kolmen prosentin olevan voimakkaasti happamoituneita (Naturvårdsverket 1986). Suomessa pienvesistöjen (0.01-10 ha) happamoituminen on jakaantunut siten, että happamia järviä on lukumääräisesti eniten Etelä- ja Itä-Suomessa. Yhteensä Suomessa arvioidaan olevan n. 4900 puskurikykyä menettänyttä järveä (Kauppi ym. 1990).

Ensimmäiset merkit happaman laskeuman vaikutuksista vesistöissämme huomattiin 1970-luvun alussa, kun suurten järvien happamoitumistutkimuksissa havaittiin veden alkaliniteetin laskua ja johtokyvyn nousua. Pintavesien happamoitumista ei kuitenkaan pidetty laajana ongelmana, koska kaikkein herkeimpiä vesistöjä ei oltu tutkittu. Myöhemmin on osoitettu, että happokuorma ylittää herkkien järvien kriittisen kuormituksen rajan lähes koko maassa ja että happamoituminen on yleinen ilmiö erityisesti Etelä-Suomen pienissä, kirkasvetisissä järvissä (Forsius ym. 1990, Kortelainen ym. 1990). Vain Suomen syrjäinen sijainti ja sen ansiosta muita Euroopan maita vähäisemmäksi jäävä happolaskeuma ovat toistaiseksi pelastaneet vesistömme todella vakavilta vaurioilta (Wahlström ym. 1992).

Nykyistä järvien happamoitumiskehitystä ei voida kaikilta osin selittää pelkästään tiedossa olevien päästöjen ja laskeumien perusteella, koska järvien happamoitumisherkyys on laskeuman lisäksi riippuvainen mm. valuma-alueen eri ominaisuuksista (esim. Kämäri 1986, Forsius ym. 1990). Maaperän paksuus, rakenne, kemiallinen koostumus sekä alueen topografia ja kasvillisuus säätelevät laskeuman sisältämien ja maaperästä huuhtoutuvien yhdisteiden koostumusta ja kulkeutumista vesistöihin (Kämäri 1984, 1986).

Suomessa maaperän ja vesistöjen happamoitumista on tutkittu pääasiassa vuosina 1985-1990 toteutetun Happamoitusprojekti HAPRO:n yhteydessä. Siinä tutkittiin mm. ilman epäpuhtauksien haitallisten vaikutusten laajuutta, koottiin edustava kemiallis- ja fysikaalislimnologinen tietokanta happamien vesistöjen määrän ja jakaantumisen arvioimiseen sekä arvioitiin valuma-alueen ja maaperän laadun vaikutusta vedenlaatuun. Lisäksi vesistöjen happamoitumista on tutkittu mm. vesi- ja ympäristöhallituksen ja Geologian tutkimuskeskuksen toimesta (esim. Puomio 1985, Kauppi 1992, Kähkönen 1993).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maaperän kemiallisen koostumuksen vaikutusta **Kuusamon, Taivalkosken ja Pudasjärven** kuntien alueella sijaitsevien

järvien happamoitumisherkkyyteen sekä tuottaa alueellista tietoa happamoitumiselle alttiiden maaperäalueiden ja vesistöjen jakaantumisesta.

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimus perustuu Oulun vesi- ja ympäristöpiirin suorittamien vesistötutkimusten sekä Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) suorittaman moreenin hienoaineksen geokemiallisen kartoituksen tuloksiin. Tutkimuksessa analysoidaan veden ja maaperän laadun muuttujia erilaisin tilastomatematisin menetelmin. Analysoinnin perusteella pyritään tuomaan esille tutkimusalueen maa- ja kallioperän ominaisuuksien vaikutusta järvivesien laatuun sekä nimeämään mahdolliset happamoituneet tai happamoitumisherkät maa- ja kallioperäalueet sekä vesistöt. Tuloksia vertaillaan alueelta aiemmin suoritettuihin tutkimuksiin sekä muiden alueiden happamoitumistilanteeseen.

### 2.1 Maaperäaineisto

Moreenin hienoaineksen kemiallisten ominaisuuksien on havaittu kuvaavan parhaiten maaperän kykyä vastustaa happamoitumista (Ferin-Westerholm 1994). Tutkimusalueen maaperän kemiallisten ominaisuuksien määrittämiseen on käytetty Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) suorittaman moreenin hienoaineksen ( $\varnothing < 0.06 \text{ mm}$ ) alueellisen geokemiallisen kartoituksen tuloksia. Moreenin hienoaines koostuu savesta ja siltistä, jotka muodostavat maaperän aktiivisimman osan. Hienoaineksella on laaja raepinta-ala ja se sisältää enemmän liukoisia mineraaleja kuin karkearakeisemmat maalajit.

Moreeninäytteet on otettu muuttumattomasta perusmaasta (C-kerroksesta) näytteenottosyvyyden ollessa vähintään yksi metri. Harjujen ja muiden lajittuneiden kerrostumien alueilla näytteet on otettu niiden alapuolisesta moreenista. Soilla näytteet on otettu vähintään yhden metrin syvyydeltä turvekerrosten alapuolelta. Näytteet koostuvat vähintään neljästä neljän neliökilometrin alueelta otetusta näytteestä, jolloin analysoitujen näytteiden alueellinen edustavuus on parempi kuin yhdestä pisteestä otetun näytteen. Lopullinen näytetiheys on ollut noin 1 näyte/ $4 \text{ km}^2$ . Hienoaineslajite on analysoitu ICP-AES:llä (Inductively Coupled Argon Plasma Atomic Emission Spectroscopy) käyttäen kuumaa kuningasvesiuutosta ( $\text{HCl} + \text{HNO}_3$ ) (Kähkönen 1993). Tutkimuksessa käytettiin alumiinin, magnesiumin, kalsiumin ja kaliumin analyysituloksia. Tutkimusalueelta oli käytössä 4242 maaperänäytteen analyysitiedot.

Valuma-alueiden maaperän geokemiallisten ominaisuuksien tarkastelua varten alkuaineiden (Al, Mg, Ca, K) ppm-pitoisuudet muutettiin ekvivalenttipitoisuuksiksi (ekv/kg) ja interpoloitiin painotetun mediaanin avulla 200 x 200 m kokoiseen hilaan 6 km säteellä Butterworth-funktion mukaisesti. Kunkin järven valuma-alueen alkuaineiden ekvivalenttipitoisuuksista laskettiin keskiarvo, jota käytettiin kuvaamaan valuma-alueen maaperän geokemiallisia ominaisuuksia.

Geokemiallisen aineiston yhdistäminen vedenlaatuaineiston ja paikkatietojen kanssa suoritettiin GTK:n Pohjois-Suomen aluetoimiston laatimien ATK-ohjelmien avulla. Geokemiallisen aineiston käsittelyn, aineistojen yhdistelyn sekä väripintakarttojen

piirron suoritti tekn.yo Harri Kinnunen GTK:n Pohjois-Suomen aluetoimistossa Rovaniemellä.

Maaperän happamoitumisherkkyyden kuvaajina tutkimuksessa käytettiin moreenin hienoainekseen kuningasvesiliukoisten, pääosin kiilteistä ja savimineraaleista liukenevien emäskationien ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) ekvivalenttipitoisuuksia sekä niiden ekvivalenttiummaa. Maaperän potentiaalista happamoitumisherkkyyttä kuvattiin lisäksi myös moreenin hienoainekseen sisältämien alumiiniekvivalenttien ja emäskationiekvivalenttien summan suhteella:  $[\text{Al}^{3+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+)]$ .

## 2.2 Järviaineisto

Tutkimuksessa käytetyt vesistöhavainnot sijoittuvat vuosille 1988-1993. Järvien valinnassa pyrittiin mahdollisimman hyvään alueelliseen kattavuuteen (kuva 1). Jokaisesta kohdejärvestä on otettu vesinäyte 0,2 - 1 m syvyydeltä vesistön syystäskierron aikana. Muut havaintoajankohdat rajattiin aineiston ulkopuolelle. Myös selvästi jätevesikuormituksen alaiset järvet poistettiin aineistosta. Useampia näytteenottokertoja sisältäneistä vesistötiedoista valittiin mahdollisimman uusi ja kattavat tiedot sisältävä havainto. Tutkimuksessa käytettyjen kemialisten muuttujien määritysmenetelmät tarkistettiin ja todettiin niiden keskinäinen vertailukelpoisuus (taulukko 1). Vesinäytteet on analysoitu Oulun vesi- ja ympäristöpiirin aluelaboratoriossa Oulussa.

Taulukko 1. Määritettyjen kemiallisten muuttujien analyysimenetelmät.

Muuttuja	Analyyssimenetelmä
pH	Elektropotentiometrinen määrittäminen pH-mittarilla lämpötilassa 25 °C (SFS 3021)
Alkaliniteetti (Gran)	Potentiometrinen titraus laimealla suolahapolla, ekvivalenttikohdan määrittäminen ekstrapoloimalla (Granin menetelmä)
Alkaliniteetti	Potentiometrinen titraus laimealla suolahapolla, ekvivalenttikohdan määrittäminen ekstrapoloimalla pH-arvoon 4,5 ja 4,2
Sähkönjohtokyky	Mittaus Pt-elektrodilla varustetussa mittakennossa lämpötilassa 25 °C (SFS 3022)
Väriluku	Mittaus Hellige-Neo komparaattorilla vertaamalla Pt-kobolttiliuoksella kalibroituhiin värilevyihin (SFS 3023)
Ca, Mg	Atomiabsorptiospektrofotometrinen määrittäminen liekkimenetelmällä (SFS 3018)
K, Na	Atomiabsorptiospektrofotometrinen määrittäminen liekkimenetelmällä (SFS 3017)
Alumiini (Al)	Atomiabsorptiomenetelmä grafiittiuunilla (SFS 5047)
Rauta (Fe)	Spektrofotometrinen menetelmä, kaliumperoksidihapetus (SFS 3028)
Mangaani (Mn)	Spektrofotometrinen menetelmä, kaliumperoksidihapetus (SFS 3033)
Kloridi (Cl)	Ionikromatografinen menetelmä
COD <sub>Mn</sub>	Kaliumpermanganaattihapetus ja titraus Na-tiosulfaattilla (SFS 3036)
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> )	Ionikromatografinen menetelmä ja Fotometrinen menetelmä
Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)	Cd-pelkistys ja mittaus kolorimetrisesti. Traacs automaattianalyysiaattorille sovellettu menetelmä
Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)	Spektrometrinen määrittäminen (SFS 3032)
Kokonaisfosfori (P <sub>tot</sub> )	Spektrofotometrinen menetelmä, kaliumperoksidihapetus (SFS 3025)



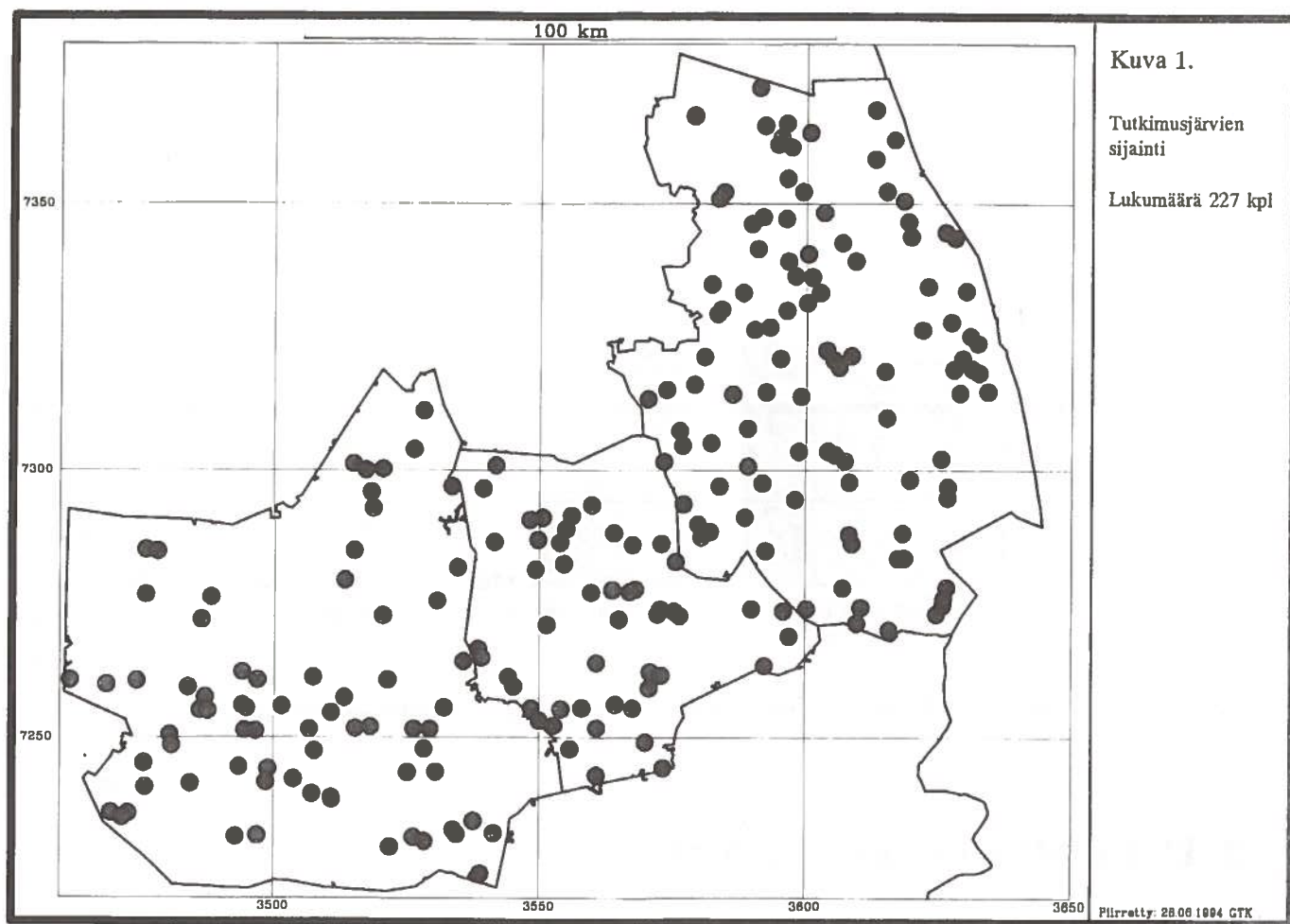
Tiedot järvien pinta-aloista poimittiin pääosin Oulun vesi- ja ympäristöpiirin vesistö-alueluetteloista. Puutteelliset pinta-alamatiedot määritettiin peruskarttalehdiltä. Järvien valuma-alueet määritettiin ja digitoitiin 1:20 000, 1:50 000, 1:100 000 tai 1:200 000 mittakaavaisilta kartoilta. Samalla määritettiin järven hydrologinen tyyppi sekä järven korkeus merenpinnasta (taulukko 2). **Läpivirtausjärvillä** tarkoitetaan järviä, joilla on sekä tulo- että lähtöuoma. **Latvajärvillä** on vain lähtöuoma, mutta ei tulouomaa. **Suljetulla järvellä** ei ole lainkaan lähtöuomaa eikä yleensä myöskään tulouomaa. Joissakin tapauksissa suljetulla järvellä voi kuitenkin olla pieni tulouoma.

Orgaanisen happamuuden merkitystä tutkimusjärvisä tarkasteltiin määrittämällä orgaanisten anionien pitoisuudet sekä ionitasapainolaskelmalla että Oliverin ym (1983) esittämällä menetelmällä. Ionitasapainolaskelmassa otettiin huomioon kationit:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  ja  $\text{H}^+$  sekä anioneista  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  ja  $\text{HCO}_3^-$ . Bikarbonaatin arvoina käytettiin alkaliniteettiarvoja. Orgaanisen happamuuden määrää kuvaamaan käytettiin Oliverin menetelmällä määritettyjä anioneita.

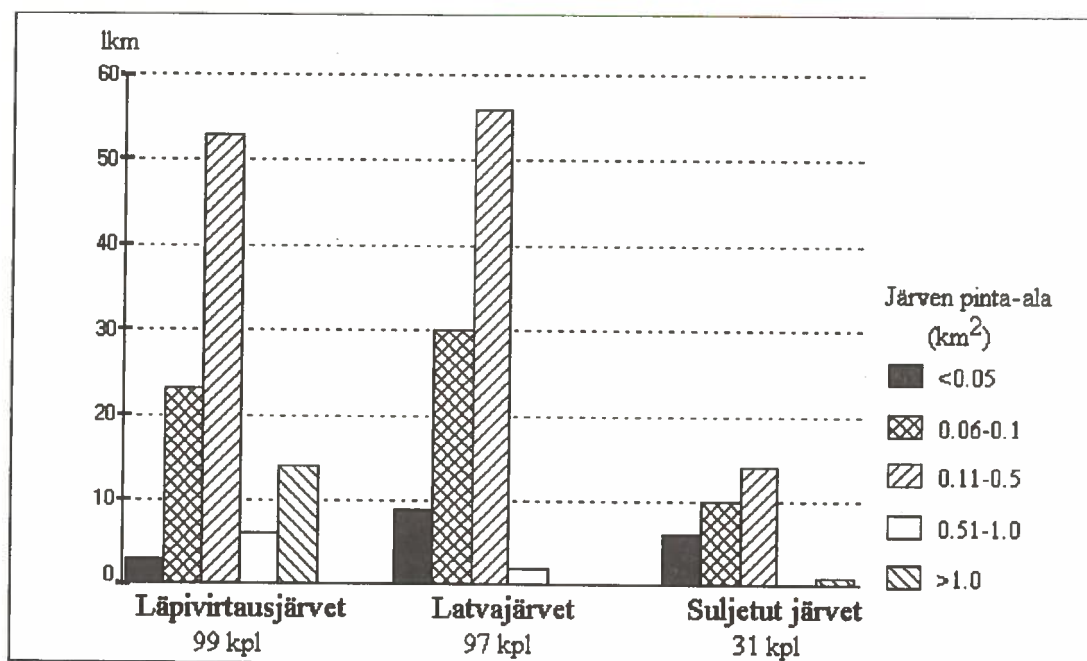
Tutkimuksessa käytettyjen järvien kokonaismäärä oli 227 kpl ja niiden pinta-alat vaihtelivat välillä 0,01-7,88 km<sup>2</sup> (taulukko 2, kuva 2). Valuma alueiden pinta-alat vaihtelivat välillä 0,2-444,8 km<sup>2</sup> (kuva 3). Pudasjärven kunnan alueella tutkimusjärviä oli 72, Taivalkoskella 50 ja Kuusamossa 105 kappaletta. Järvistä valtaosa (90 %) oli kooltaan alle 0,5 km<sup>2</sup>. Läpivirtausjärviä aineistosta oli 43 %, latvajärviä 43 % ja suljettuja järviä 14 %. Läpivirtausjärvet olivat pinta-alaltaan suurempia kuin latvajärvet ja suljetut järvet. Myös valuma-alueet olivat läpivirtausjärvillä huomattavasti suurempia kuin latvajärvillä ja suljettujen järvillä. Läpivirtausjärvillä valuma-alueiden ja järvien pinta-alojen suhteen mediaaniarvo oli lähes kaksi kertaa suurempi kuin latvajärvillä ja suljetuilla järvillä (taulukko 2).

Taulukko 2. Fysikaalisten muuttujien mediaanit ja vaihteluvälit koko järviaineistossa\*) ja eri järvityypeillä.

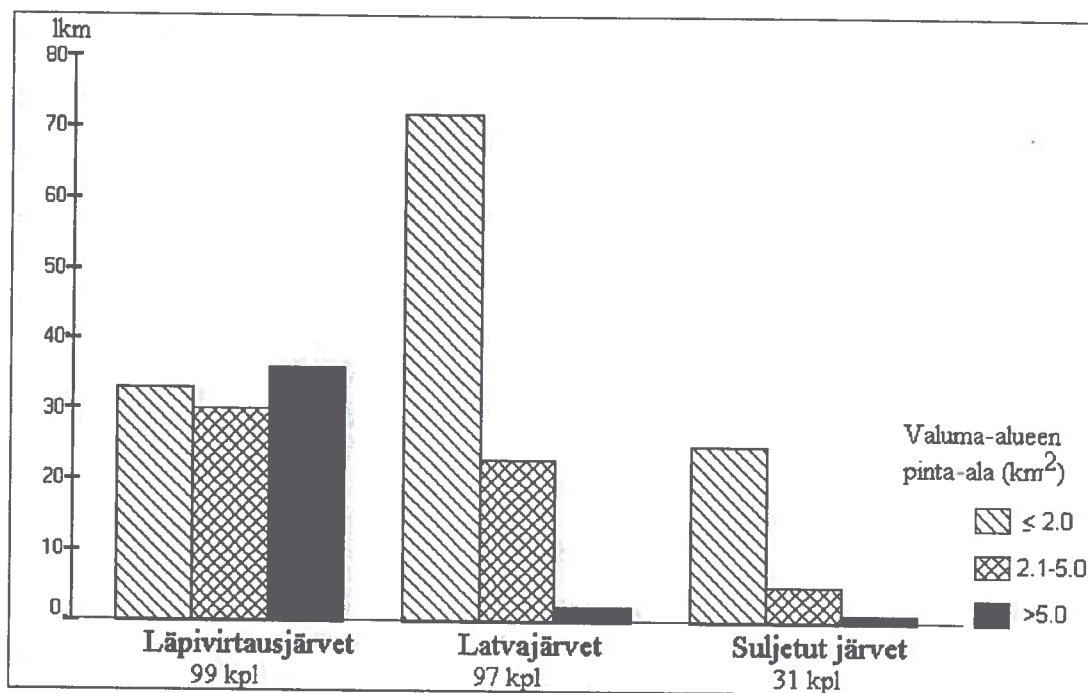
Muuttuja	Mediaani	Vaihteluväli	n
Järven pinta-ala (km <sup>2</sup> )*	0,14	0,01-7,9	227
Läpivirtausjärvet	0,16	0,02-7,9	99
Latvajärvet	0,13	0,01-0,8	97
Suljetut järvet	0,1	0,02-1,2	31
Valuma-alueen pinta-ala (km <sup>2</sup> )*	1,7	0,2-444,8	227
Läpivirtausjärvet	2,8	0,5-444,8	99
Latvajärvet	1,3	0,2-6,5	97
Suljetut järvet	1,0	0,2-6,9	31
Valuma-alueen pinta-ala/järven pinta-ala*	12	1,7-3258,2	227
Läpivirtausjärvet	16,6	3,5-3258,2	99
Latvajärvet	9,2	3,4-140	97
Suljetut järvet	9,1	1,7-88	31



Kuva 1. Tutkimusaineiston järvien sijainti (227 kpl).



Kuva 2. Tutkimusaineiston järvien pinta-alojen jakauma.



Kuva 3. Tutkimusaineiston järvien valuma-alueiden pinta-alojen jakauma.

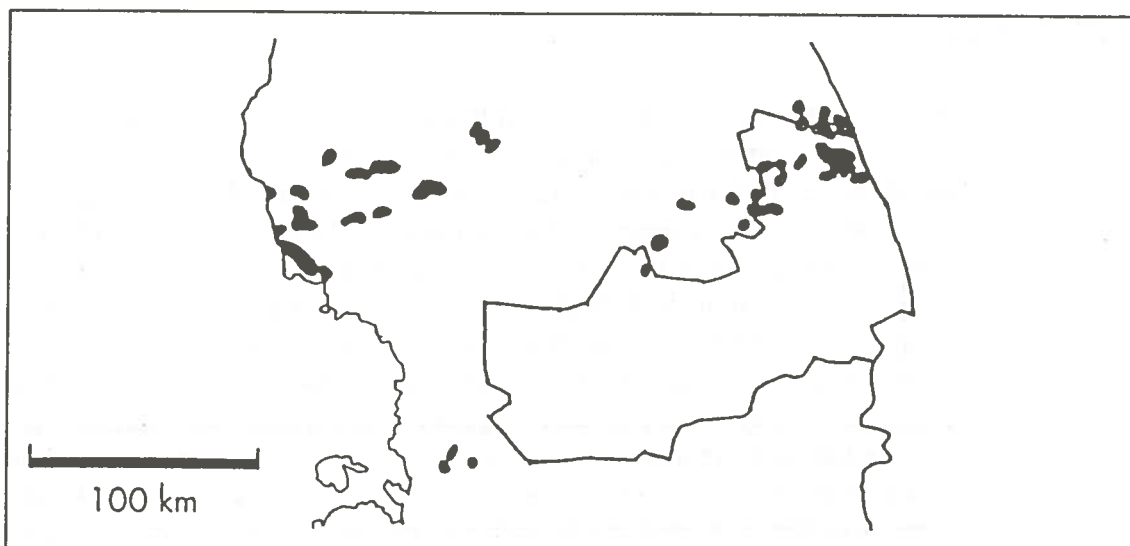
### 3 TUTKIMUSALUEEN KUVAUS

#### 3.1 Kallioperä

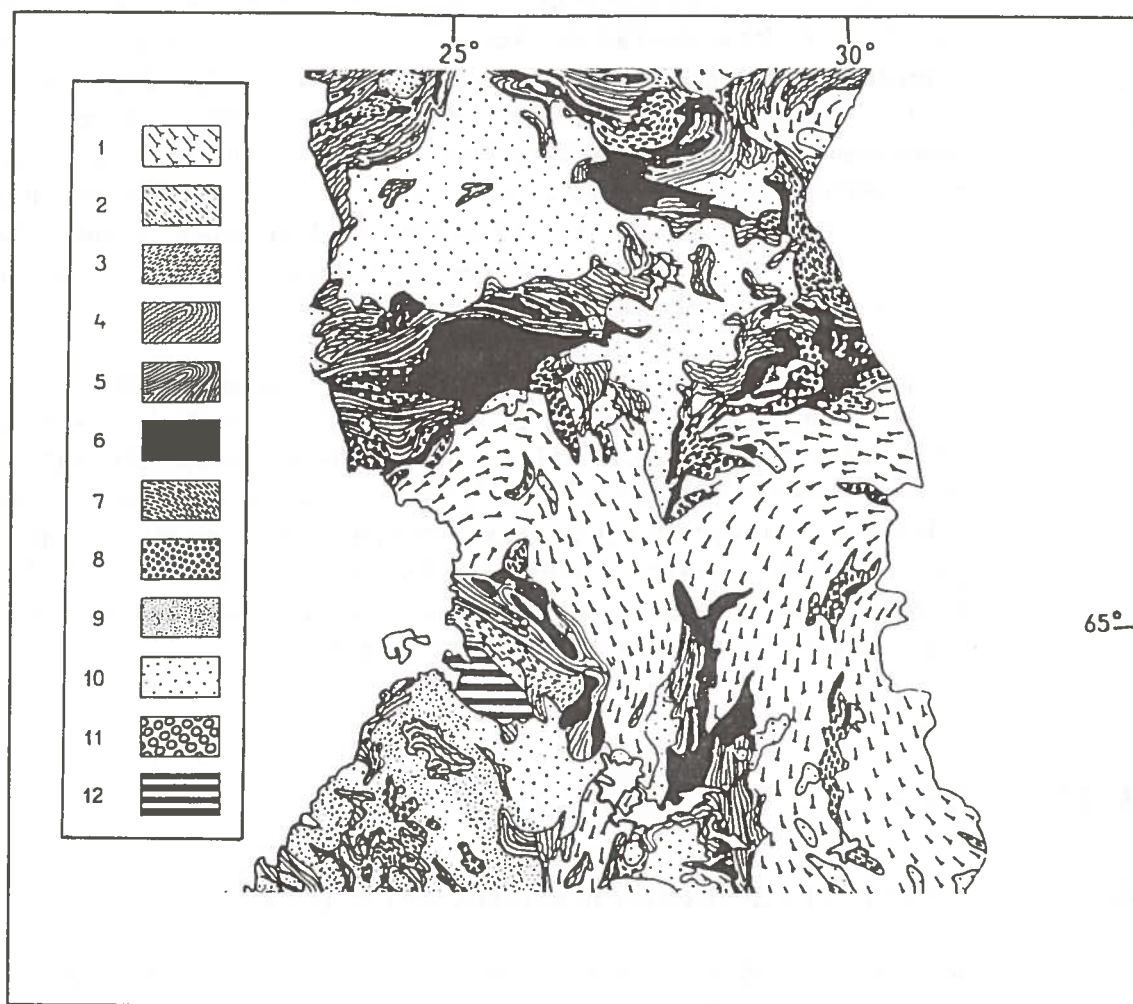
Tutkimusalueen kallioperä voidaan jakaa karkeasti Itä-Suomen ja Pudasjärven graniittigneissialueisiin sekä Kuusamon liuskealueeseen. Keski-Lapin graniittialue lännessä ja Kuusamon liuskealue idässä muodostavat tutkimusalueen keskiosiin työntyvän, pääasiassa graniittia ja kvartsiittia sisältävän kielekkeen (kuva 4). Sen itäpuolella esiintyy laikkuttaisesti vulkaniitteja, gabroja, anortosiittia, ultraemäksisiä kivilajeja, kiilleigneissisiä ja migmatiittia. Itä-Suomen ja Pudasjärven kallioperäalueiden graniittigneissit ovat pääasiassa kvartsi- ja granodioriitteja, gabroja sekä graniitteja. Graniittigneissialueen pääkivilaji on koostumukseltaan kvartsi- tai granodioriittinen gneissigraniitti (Perttunen 1984, Aartolahti 1980).

Kuusamon pohjoisosiin ulottuva liuskemuodostuma koostuu pääasiassa konglomeraateista, kvartsiiteista, kiilleliuskeista, fylliitistä sekä emäksisiä diabaasikivilajeista. Lisäksi tavataan satunnaisesti myös dolomiittista ja sedimenttisyntyistä kalkkikiveä sekä vulkaanista alkuperää olevia vihreäkiviä (kuva 5) (Piispanen 1979). Kuusamon eteläosat poikkeavat kivilajikoostumukseltaan huomattavasti emäksisten, piihappoköyhien kivilajien luonnehtimasta pohjoisosasta, sillä eteläosa kuuluu Itä-Suomen happamien, siliikaattisten kivilajien luonnehtimaan graniittigneissikompleksiin (Perttunen 1984, Väyrynen 1954, Rankama 1964). Kuitenkin sekä liuske- että graniittigneissialueella esiintyy tutkimusalueen muihin osiin verrattuna runsaasti emäksisiä kivilajeja, jotka vaikuttavat järvien veden ja sedimenttien laatuun (Myllymaa & Murtoniemi 1986).





Kuva 4. Koillismaan sedimenttiset kalkkikivet (Suomen geokemian atlas).



Kuva 5. Pohjois-Suomen kivilajikartta (Perttunen 1984 Simosen 1960 mukaan).  
**Selitykset:** 1. graniittigneissi, 2. granuliittia ja liusketta, 3. leptiitti, 4. kiillegneissi ja migmatiitti, 5. fylliitti ja kiilleliuske, 6. kvartsiitti, 7. metabasalti ja amfiboliitti, 8. piihappoköyhät syväkivet (peridotiitti, gabro ja anortosiitti), 9. kvartsidioriitti ja granodioriitti, 10. graniitti ja piihapporikkaat syväkivet yleensä, 11. rapakivi ja muut anorogeeniset graniitit, 12. metamorfoitumattomat sedimenttikivet.

## 3.2 Maaperä

Moreeni on Pohjois-Suomen yleisin maalaji peittäen noin 50 % maapinta-alasta. Tutkimusalueen maaperä koostuu pääasiassa pohjamoreenista, joka edustaa pintamoreeneja paremmin kallioperän paikallista koostumusta. Kalliopaljastumia tai alle yhden metrin paksuisen maakerroksen peittämiä kallioalueita Pohjois-Suomen maapinta-alasta on alle 6 % ja harjuja sekä muita hiekka- ja sorakerrostumia n.10 %. Soiden osuus maa-alasta vaihtelee Kuusamon ja Taivalkosken 30 - 40 %:sta Pudasjärven länsiosien 60 %:iin (esim. Eurola 1994). Geomorfologisesti alue jakaantuu Kuusamon vaara- ja drumliinialueeseen, Karelidien vaara-alueeseen sekä Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan laakioon (Seppälä 1986). Korkeuserot alueella vähentyvät siirryttäessä idästä länteen. Tutkimusalueella vallitsevia suurvesistöalueita ovat Kuusamon pohjoisosissa Koutajoen vesistöalue ja eteläosissa Vienan Kemin ja Iijoen vesistöalueiden latvaosat. Taivalkoskella ja Pudasjärvellä vallitsevana ovat Iijoen vesistöalue sekä Pudasjärven eteläosiin ulottuva Oulujoen vesistöalue (Ekholm 1993).

Lajittunutta ainesta tutkimusalueella esiintyy pääasiassa Pudasjärveltä Taivalkoskelle ulottuvan Pudasjärven-Taivalkosken-Hossan harjun ja Posion-Kuusamon harjun yhteydessä sekä harjuihin liittyvissä jäätikköjokikerrostumissa (esim. Suomen kartasto 1986). Lajittuneesta aineksesta ja huuhtoutuneesta moreenista koostuvat maaperäalueet ja muodostumat ovat happamoitumisherkkiä, koska niiden mineraalimaa-aineksessa on vähän puskuroivia emäskationeja sisältävää hienoaainesta ja koska valumaveden viipymäaika karkearakeisessa maaperässä on lyhyt. Lisäksi maa- ja kallioperä koostuu näillä alueilla erittäin hyvin rapautumista kestävästä mineraaleista, kuten kvartsista ja kalimaasälvästä (Kähkönen 1993).

Helppoisin rapautuvista mineraaleista, kuten karbonaateista, amfiboleista, pyrokseenista, biotiitista ja Ca-rikkaista plagioklaaseista koostuvilla hienoaainespitoisilla moreenialueilla maaperän puskurikyky on hyvä ja ylimääräinen happokuormitus neutraloituu emäskationien vaihtoreaktioissa. Kalkkikivien ja muiden emäksisten kivilajien alueilla kallioperän happamoitumista vastustava puskurikyky on siis parempi kuin alueilla, joilla happamat, vaikeasti rapautuvat kivilajit ovat vallitsevia (Kähkönen 1988). Emäksisten kivien alueilla alumiinirapautuminen käynnistyy vasta hyvin voimakkaan happokuormituksen seurauksena (Räisänen 1989).

## 4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

### 4.1 Moreenin hienoaineksen alkuainepitoisuudet

Runsasti maa-alkaleja sisältävien emäksisten mineraalien esiintyminen maa- ja kallioperässä on pääasiallinen luonnonvesien emäskationipitoisuutta ja alkaliniteettia säätelevä tekijä. Esimerkiksi kalsiumin ja magnesiumin korkeat pitoisuudet maa- ja kallioperässä heijastuvat alueellisesti vesien pitoisuuksiin (Lahermo 1991). Tämän seurauksena valuma-alueen maaperän laatua voidaan pitää indikaattorina valuma-alueen ja myös järven luontaisesta puskurikyvystä sekä herkkyydestä happamalle laskeumalle (taulukko 3) (Kämäri 1984, Forsius ym. 1990, Kontio & Kähkönen 1991).

Taulukko 3. Tutkimusalueen moreenin hienoaineksen kuningasvesiliukoinen alumiini, magnesium, kalsium ja kalium (ks. liite 1). Arvot ppm-pitoisuuksina.

Alkuaine	Keskiarvo	Mediaani	Min	Max
Al	10675,3	10200	5370	24000
Mg	4969,9	4680	2100	38000
Ca	2392,7	2400	1310	3540
K	1475,9	1420	535	4310

Tutkimusalueella moreenin hienoaineksen korkeimmat **magnesium-pitoisuudet** (8000-10800 ppm) sijoituivat Kuusamon pohjoisosien liuskealueen tuntumaan, missä korkeiden pitoisuuksien taustalla ovat alueen emäksiset kivilajit, kuten vulkaniitit, karbonaatit ja dolomiitit, mutta myös liuskejakson eteläiseen kärkeen, mistä löytyy satunnaisia vulkaniittisaarekkeitä (kuva 6). Kuusamon eteläosan korkean Mg-pitoisuuden saareke sijaitsee gabron, anortosiitin ja peridotiitin muodostamalla kerrosintruusioalueella. Peridotiitti sisältää runsaasti tummia mineraaleja, kuten esimerkiksi oliviinia, joka voi sisältää runsaastikkin magnesiumia (Ratia & Gehör 1987). Taivalkosken eteläosan Mg-rikas alue sijoittuu kvartsiittia ja liuskeita sisältävälle alueelle (ks. Kuvat 4 ja 5). Vähäisimmät magnesiumpitoisuudet (alle 3400 ppm) sijoituivat graniittigneissi-, kvartsiitti- ja graniittialueille. Kallioperässä magnesiumia esiintyy silikaatti- ja karbonaattimineraaleissa sedimentti- ja ultramafisten kivilajien yhteydessä. Maaperässä magnesiumrikkaat kivilajit rapautuvat yleensä helposti ja magnesiumia vapautuu kiertoon.

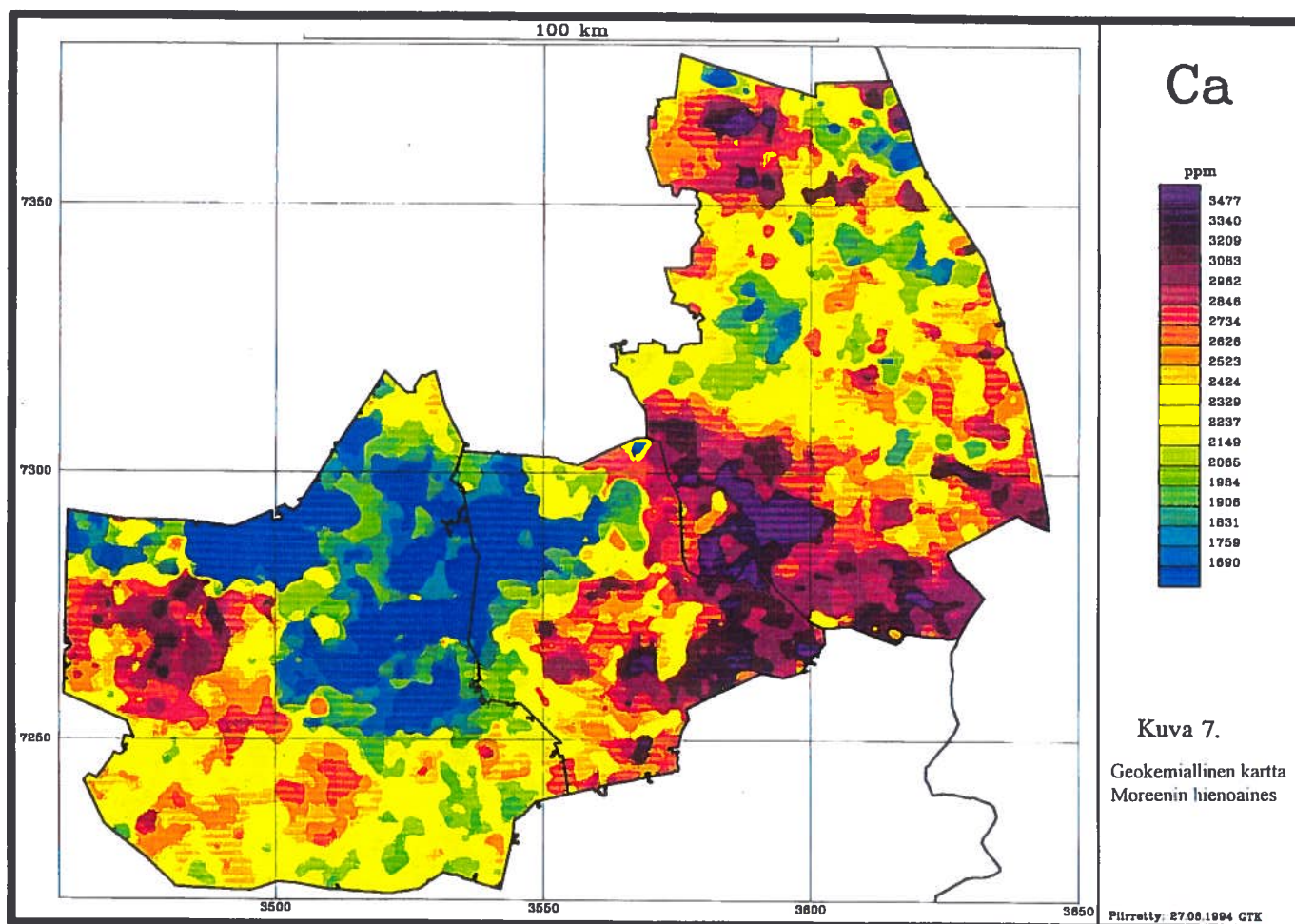
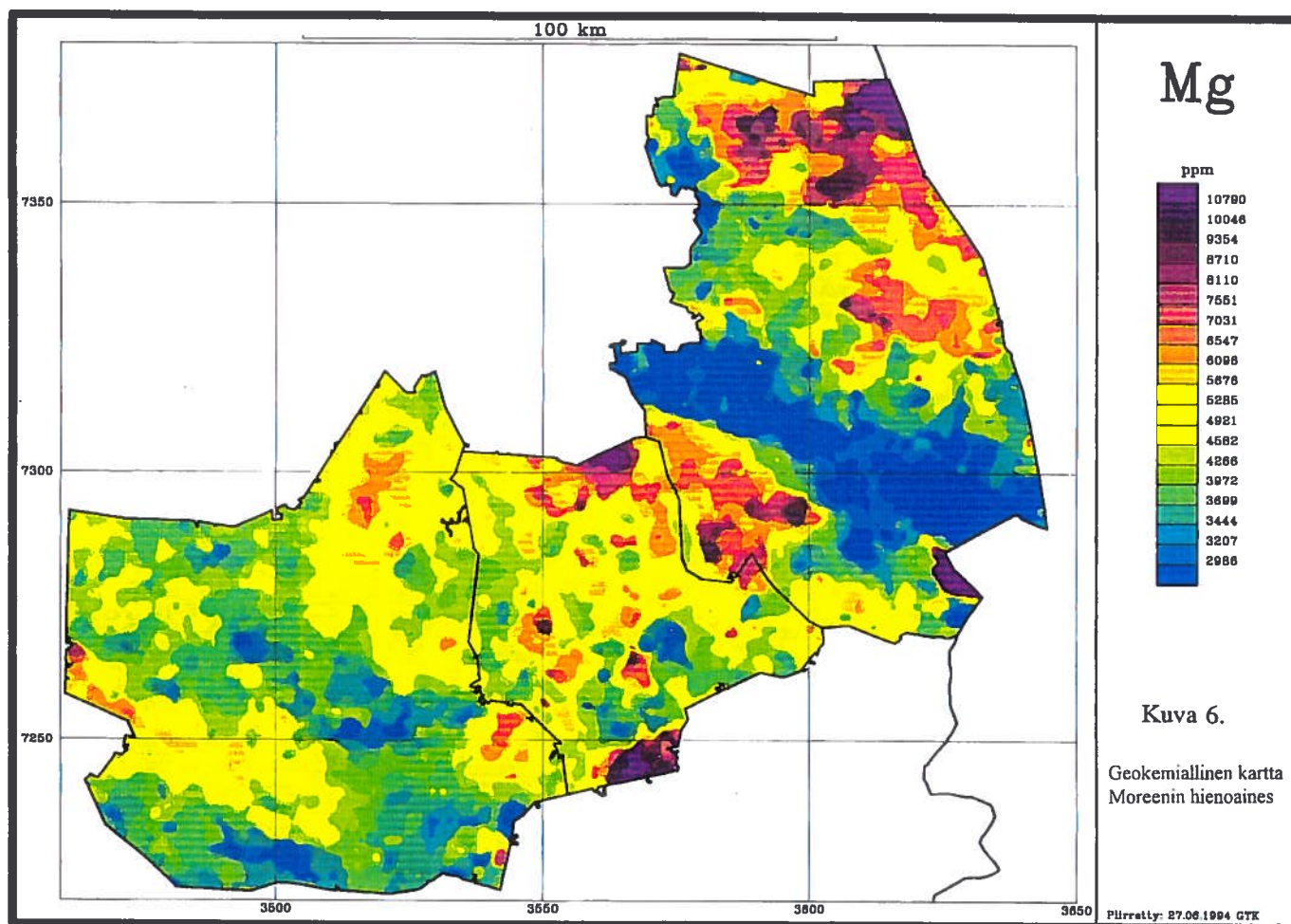
Kuusamon etelä- ja lounaisosien sekä Taivalkosken itäosien graniittigneissialueen korkeat **kalsiumpitoisuudet** (3300-3500 ppm) lienevät peräisin Taivalkosken pohjoisosiin sijoittuvalta peridotiittia, gabroa ja anortosiittia sisältävältä kerrosintruusioalueelta. Ottaen huomioon viimeisen jääkauden salpausselkävaiheen aikaiset ja sitä nuoremmat jäätikön virtaussuunnat näyttäisi todennäköiseltä, että moreenia on kulkeutunut koillinen-kaakko -suunnassa kerrosintruusioalueelta graniittigneissialueelle. Ca-pitoisuuksia kohottaa anortosiitin ja gabron päämineraalina oleva kalsiumrikas plagioklaasi (Ratia & Gehör 1987). Moreenin pienten kalsiumpitoisuuksien alueilla ovat vallitsevina pääasiassa happamat syväkivet ja liuskeet. Tutkimusalueella alhaisimmat kalsiumpitoisuudet (1600-1800 ppm) sijoituivat Pudasjärven happamista gneisseistä ja syväkivistä koostuvalle graniittigneissialueelle. Kuusamon liuskealueen korkeiden kalsiumpitoisuuksien aiheuttajina ovat kallioperän kalkkikivet ja spilliittiset karbonaattijuonet sekä emäksisten kivilajien muuttumisen tuloksena syntyneet karbonaatit (kuva 7) (Piispanen & Myllymaa 1982).

*Kuva 6. Moreenin hienoaineksen kuningasvesiliukoinen magnesium (Yksikkö: ppm).*

*Kuva 7. Moreenin hienoaineksen kuningasvesiliukoinen kalsium (Yksikkö: ppm).*

Värikuvat seuraavalla sivulla.





Magnesium- ja kalsiumalueiden kaltaisia yhtenäisiä korkean **kaliumpitoisuuden** vyöhykkeitä ei tutkimusalueella ole (kuva 8). Melko pienialaiset pitoisuushuiput (3500-4500 ppm) sijoittuvat Kuusamon pohjoisosiin fylliitti- ja kiilleliuskealueelle. Kiilleliuskeen päämineraaleina on biotiittiä ja muskoviittiä, jotka ovat savimineraalien ohella pääasiallisia kaliumlähteitä. Graniittigneissi- ja graniittialueiden paikoin korkeat pitoisuudet johtuvat kiillemineraaleista (Ratia & Gehör 1987, Kähkönen 1993).

Tutkimusalueella moreenin hienoaineksen korkeimmat **alumiinipitoisuudet** (17000-19000 ppm) sijoittuvat magnesiumin ja kalsiumin tapaan Kuusamon lounaisosan graniittigneissialueelle, mutta myös Taivalkosken pohjoisosien peridotiitti-, gabro- ja anortosiittialueelle sekä sen itäpuoliselle graniittigneissialueelle (kuva 9). Tällä alueella liukoinen alumiini lienee peräisin kiilteistä ja savimineraaleista. Yleensä alumiinipitoisuudet aiheutuvat pääasiassa savimineraaleista, kloriitista tai kiilteistä (erit. biotiitti) sekä osittain tai kokonaan kuningasvesiuutoksessa liukenevista amfiboileista ja pyrokseeneista (Kähkönen 1993). Tutkimusalueen korkeimmatkin Al-pitoisuudet ovat kuitenkin vain keskimääräisiä verrattaessa niitä esimerkiksi Lapin granuliittialueeseen sekä Taka- ja Koillis-Lapin graniittigneissialueisiin, joilla Al-pitoisuudet ovat laajoilla alueilla yli 25000 ppm (ks. liite 1)(esim. Kähkönen 1993).

## 4.2 Maaperän happamoitumisherkkyys

Maaperältään parhaiten puskuroituja alueita olivat Kuusamon pohjoisosien emäksisten kivilajien alueet Ala-Kitka-Kitkanjoki -linjan pohjoispuolella (kuva 10). Tällä alueella esiintyy esim. sedimenttisyntyistä kalkkikiveä (ks. kuva 4). Muita puskurikyvyltään hyviä alueita olivat Kuusamon eteläosan peridotiitti-gabro-anortosiitti -vyöhyke sekä Taivalkosken pohjoisosan vastaava kallioperäalue. Taivalkosken eteläosan korkean emäskationipitoisuuden vyöhyke sijoittuu kvartsiittia ja kiilteitä sisältävälle alueelle. Maaperän happamoitumisherkkyys oli suurin Pudasjärven keskiosat ja Taivalkosken itäosat käsittävällä graniittigneissialueella sekä Kuusamossa Suininkijärvi-Livojärvi-linjan eteläpuolen lähes täysin kattavalla graniittigneissialueella. Emäskationisummaa dominoivalla magnesiumilla oli tärkeä merkitys maaperän puskurikyvyn muodostumisessa.

Maaperän potentiaalista happamoitumisherkkyyttä kuvaavan  $[Al^{3+}/(Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^+)]$  -suhteen perusteella näyttäisi siltä, että herkkäliukoisten emäskationien ja alumiinin määrän vaihtelu maaperässä kuvaa maaveteen liukenevien ravinnekationien ja liukaisen alumiinin määrää (kuva 11). Happamoitumisen voimistuminen vähentää rehevillä mineraalimailla emäskationien määrää maan pintakerroksessa. Karussa maassa se lisää liukaisen alumiinin määrää (Räisänen 1989). Alumiini-emäskationisuhteen ollessa pienimmillään on maaperän purkurikyky suurin. Maaperän potentiaalinen happamoitumisherkkyys oli suurin Pudasjärven ja Taivalkosken pohjoisosissa ja pienin Pohjois-Kuusamosa.

*Kuva 8. Moreenin hienoaineksen kuningasvesiliukoinen kalium (Yksikkö: ppm).*

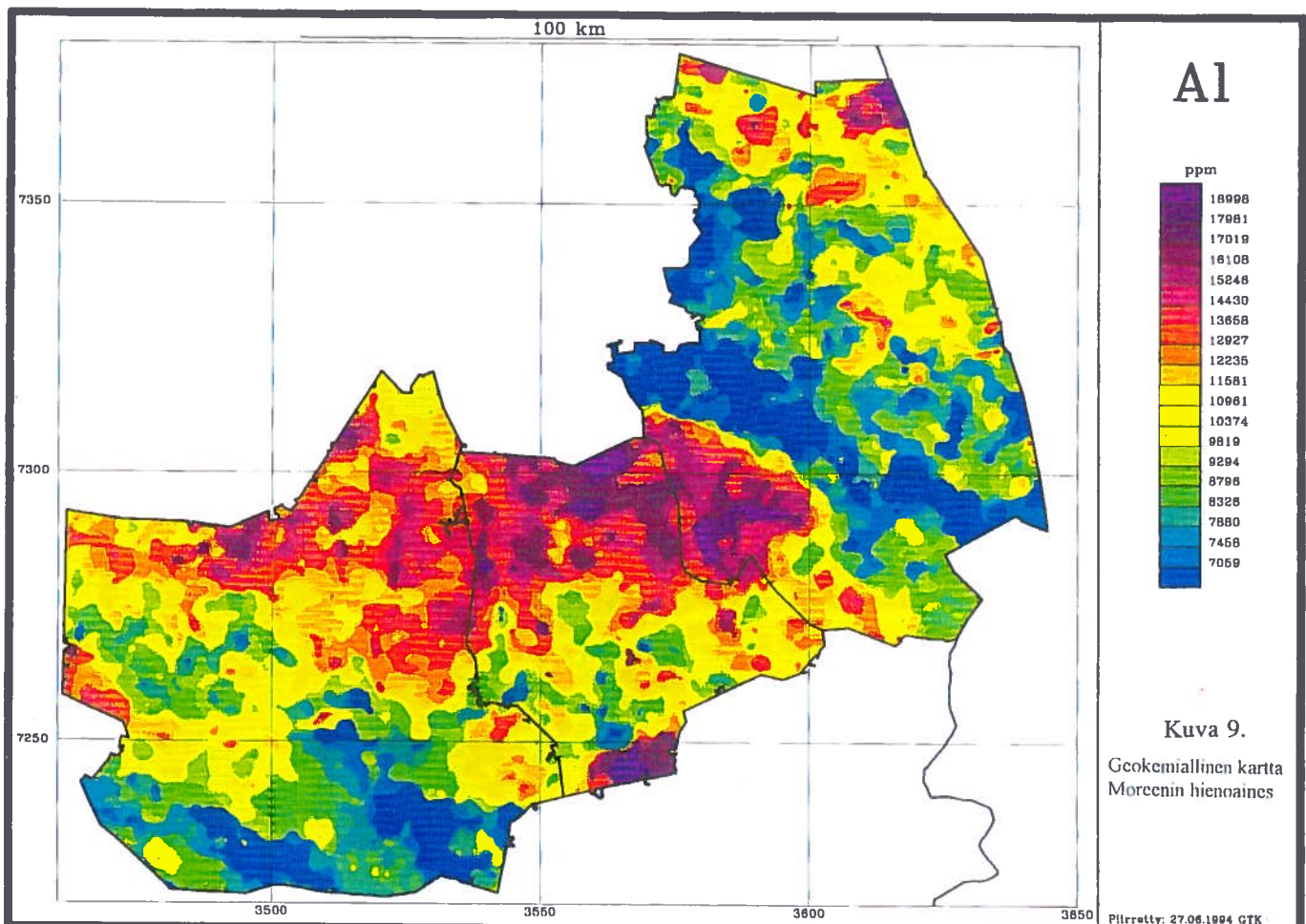
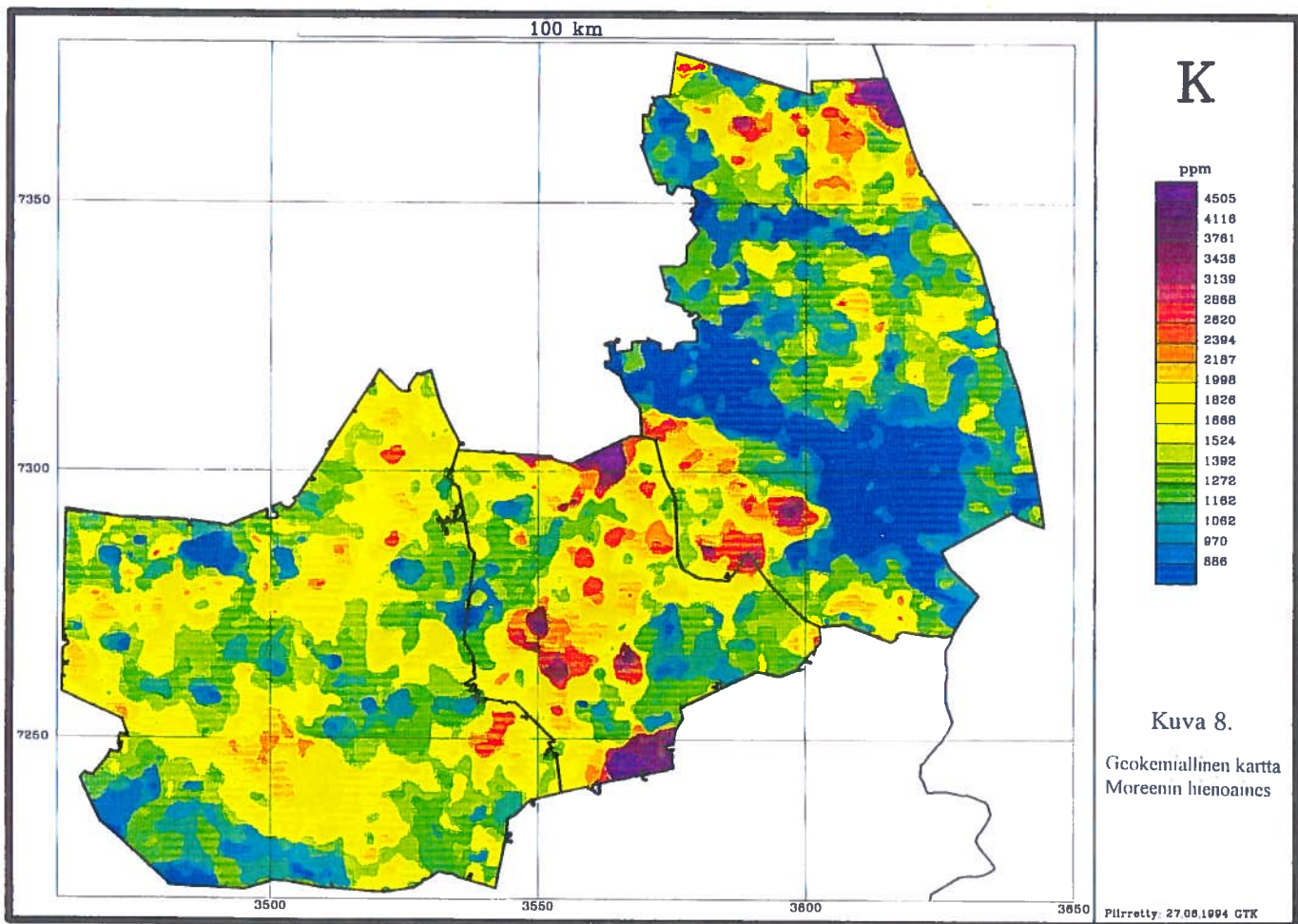
*Kuva 9. Moreenin hienoaineksen kuningasvesiliukoinen alumiini (Yksikkö: ppm).*

*Kuva 10. Moreenin hienoaineksen emäskationien ekvivalenttisuussumma ( $Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^+$ ).*

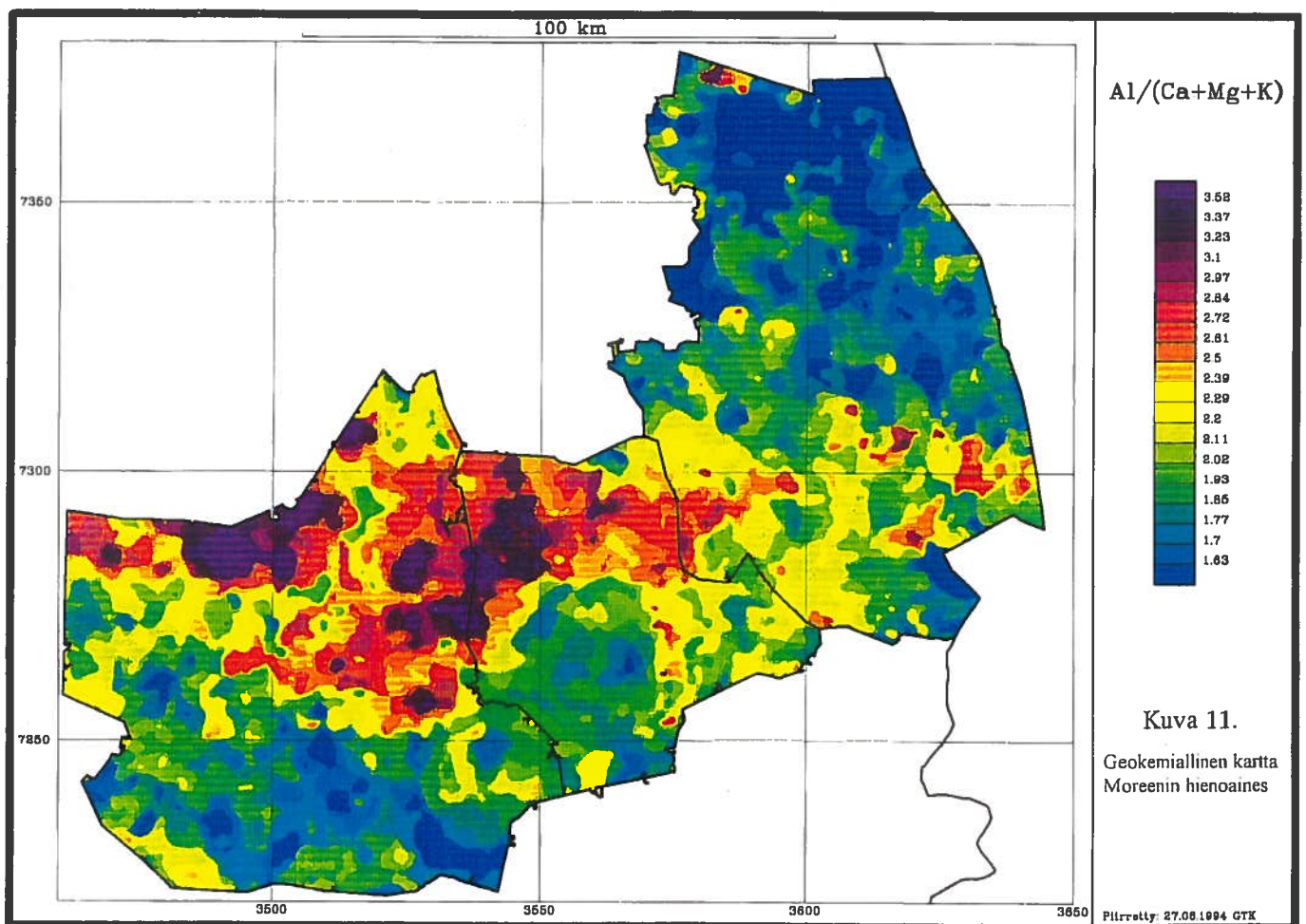
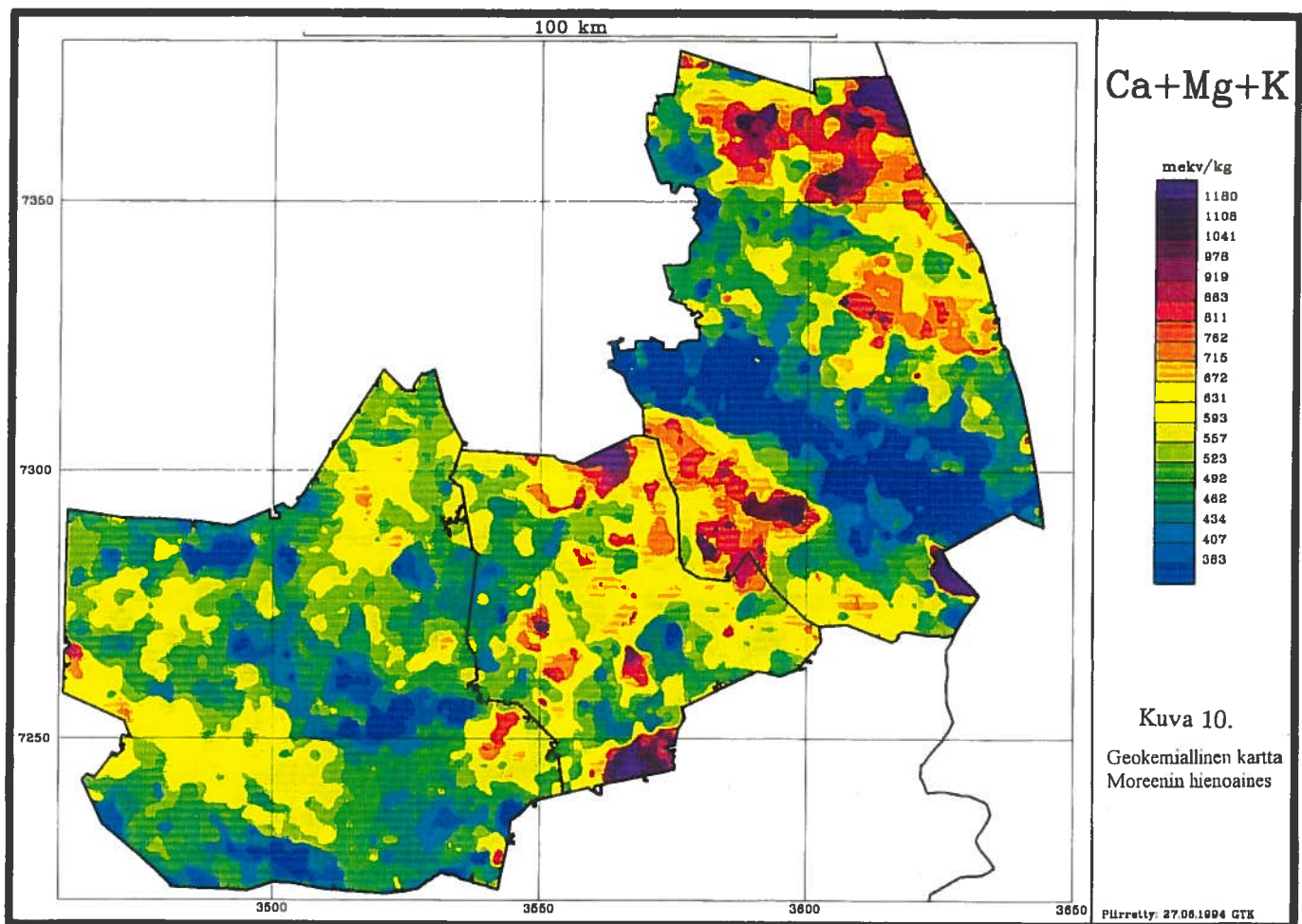
*Kuva 11. Moreenin hienoaineksen alumiiniekvivalenttien ja emäskationien summan suhde  $Al^{3+}/(Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^+)$ .*

Värikuvat seuraavilla sivuilla.









Maaperän laatua kuvaavana tutkimusaineistona käytetyistä kuningasvesiuutolla määritetyistä alkuainepitoisuuksista voidaan todeta, että lienneet alkuainemäärät ovat huomattavasti suurempia kuin mitä luonnon heikkojen happojen aikaansaamassa mineraalien rapautumisessa vapautuisi. Tämän seurauksena esimerkiksi maaperässä normaalisti liukenemattomassa muodossa oleva ja puskurina toimiva alumiini liukenee voimakkaasti. Tosin alumiinin liukeneminen kasvaa myös luonnon heikkojen happojen aiheuttaman rapautumisen korvautuessa antropogeenista alkuperää olevien vahvojen happojen ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ) aiheuttamalla rapautumisella.

Tarkasteltaessa Pudasjärven, Taivalkosken ja Kuusamon alueiden moreenin hienoaineksen geokemiallisia ominaisuuksia ja järvien vedenlaatua havaittiin, että tärkeimmät maaperässä vallitsevat vesien happamoitumisherkkyteen vaikuttavat tekijät voitiin tunnistaa käytössä olleen aineiston perusteella. Moreenin hienoaineksen korkeimmat emäskationipitoisuudet sijoittuivat melko selkeästi emäksisten kivilajien luonnehtimille alueille. Korkeiden kationipitoisuuksien alueet ja niiden taustalla olevat kallioperäalueet olivat yleensä tunnistettavissa. Erityisen selvärajaisina erottuivat Kuusamon pohjoisosien emäksisten kivilajien vyöhyke sekä gabron, peridotiitin ja anortosiitin valitsevat kerrosintruusiosaarekkeet. Korkeiden emäskationipitoisuuksien alkuperä jäi epäselväksi vain Kuusamon etelä- ja lounaisosat kattavan graniittigneissialueen osalta. Alumiinin ja emäskationien summan suhde heijasti selkeästi happamoitumisherkkydeltään eritasoisten alueiden jakaantumista.

Tutkimuksessa havaittiin, että moreenin hienoaineksen alkuainekoostumuksen perusteella ei voida tehdä kovin tarkkoja johtopäätöksiä järvien tilasta, sillä vedenlaatu vaihtelee usein pienialaisesti paikallisten maaperä-, kuormitus-, maankäyttö- ja kasvillisuustekijöiden säätelämänä. Kuitenkin yleiset valuma-alueen pinta-alaa, valuma-alueen ja järven pinta-alojen suhdetta, maaperän emäskationien määrää, vesistöjen alkaliniteettiä sekä orgaanisen aineksen määrää koskevat lainalaisuudet voitiin tunnistaa aineistosta. Maaperäaineiston käsittelyssä käytetty painotetun mediaanin menetelmä antaa maaperästä hyvin yleisen kuvan, joka ei tuo esille pienten valuma-alueiden vaihtelevia ominaisuuksia. Esimerkiksi moreenin sisältämien emäskationipitoisuuksien yhteys vesistöjen vastaaviin pitoisuuksiin ja alkaliniteettiin oli havaittavuudestaan huolimatta heikko. Yksittäisten alkuaineiden yhteyksiä moreenissa ja vedessä ei voitu havaita.

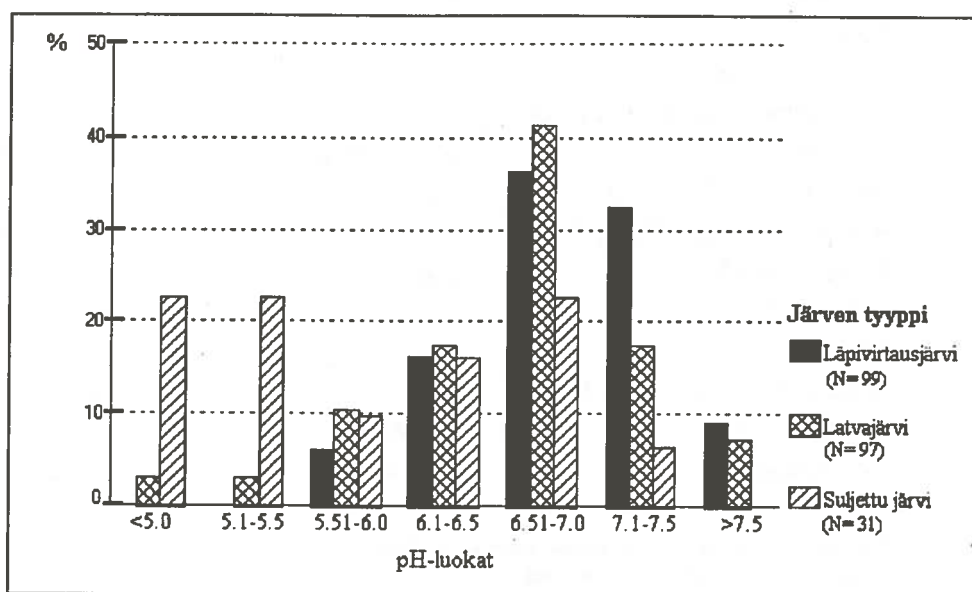
Tutkimuksen pohjalta voitiin kuitenkin todeta, että emäksisten, helposti rapautuvien mineraalien esiintyminen maa- ja kallioperässä säätelee luonnonvesien emäskationipitoisuutta ja alkaliniteettiä. Valuma-alueen maaperän yleistä geokemiallista koostumusta voidaan pitää indikaattorina valuma-alueen ja myös järven luontaisesta puskurikyvystä sekä herkkyydestä happamalle laskeumalle. Tämän seurauksena maaperän ja vesien happamoitumisherkkyys on Kuusamon pohjoisosien liuskealueella Pudasjärveä, Taivalkosken länsiosia sekä Kuusamon eteläosia pienempi.

Tarkempaa jatkotutkimusta vaatii erityisesti maa- ja kallioperän ominaisuuksien perusteella tapahtuva vesistöjen alueellisen happamoitumisherkkyden mallintaminen. Moreenin hienoainesta tarkasteltaessa tulisi lisäksi huomioida näytesyvyyden mukanaan tuoma vaihtelu sekä turvekerrostumien paksuus ja laajuus alueella.

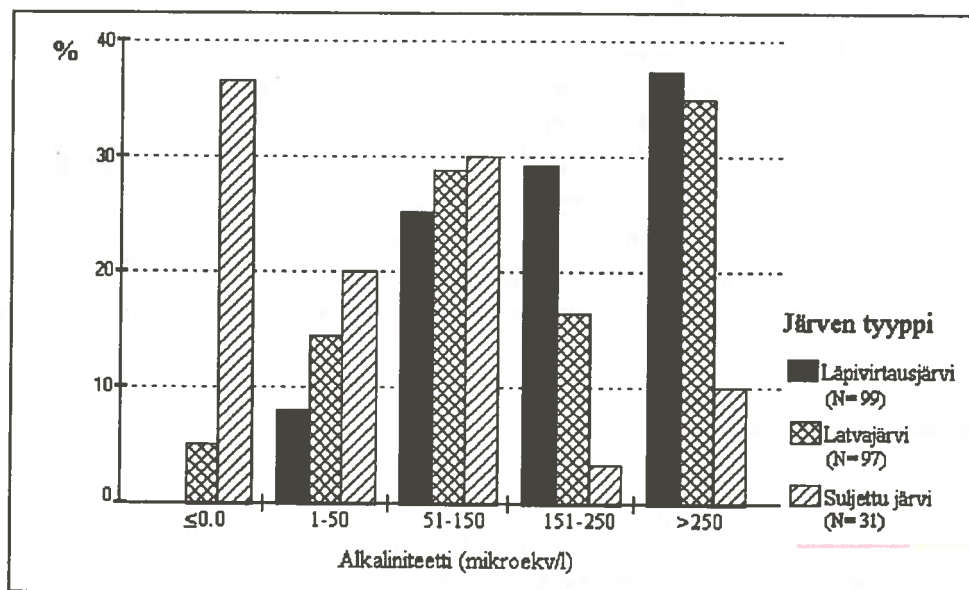


### 4.3 Tutkimusjärvien vedenlaatu

Tutkimusaineiston järvien pH:n mediaaniarvo oli 6,8 ja alkaliniteetin mediaani 170  $\mu\text{ekv/l}$  (taulukko 4). Koko aineistossa 8 %:lla järvistä pH-arvo oli alle 5,5. Läpivirtausjärvissä pH:n ja alkaliniteetin mediaaniarvot (med. pH 6,9 ja alkaliniteetti 210  $\mu\text{ekv/l}$ ) olivat korkeammat kuin latvajärvissä (med. pH 6,8 ja alkaliniteetti 170  $\mu\text{ekv/l}$ ) (kuvat 12 ja 13, liitteet 2 ja 3). Suljetuissa järvissä pH-arvot ja alkaliniteettipitoisuudet olivat edellisiä selvästi alhaisempia (med. pH 6,0 ja alkaliniteetti 25  $\mu\text{ekv/l}$ ). Happamoitumisherkiksi (alkaliniteetti 1-50  $\mu\text{ekv/l}$ ) järvistä voitiin luokitella 13 %. Eniten happamoituneita järviä oli suljetuissa järvissä (36 %). Latvajärvissä niiden osuus oli 5 %. Yksikään läpivirtausjärvistä ei ollut täysin menettänyt puskurikykyään. Happamoitumisherkiksi luokiteltavia järviä oli suljetuissa järvissä 20 %, latvajärvissä 15 % ja läpivirtausjärvissä 8 %. Täysin puskurikykyänsä menettäneitä järviä (alkaliniteetti  $\leq 0,0$   $\mu\text{ekv/l}$ ) tutkimusaineistossa oli 7 %.



Kuva 12. pH-arvojen jakaumat läpivirtaus- ja latvajärvissä sekä suljetuissa järvissä.



Kuva 13. Läpivirtaus- ja latvajärvien sekä suljettujen järvien alkaliniteetin jakauma.

Taulukko 4. Tutkimusjärvien kemiallisten muuttujien mediaanit ja vaihteluvälit.

Muuttuja	Yksikkö	Med.	Min	Max	n
pH		6,8	4,5	7,9	227
Alkaliniteetti	µekv/l	170	-40	2460	226
Sähkönjohtokyky	mS/m	2,8	0,9	23	227
Väriluku	Pt mg/l	50	0	280	226
Kalsium Ca*	µekv/l	138,1	13,4	1488,7	196
Kalium K*	µekv/l	9,8	1,7	69,9	197
Natrium Na*	µekv/l	26,1	-52,9	329,7	197
Magnesium Mg*	µekv/l	63,6	4,4	851,2	197
Ca+Mg+K(*)	µekv/l	212,3	20,5	2377,0	196
Ca+Mg+K+Na(*)	µekv/l	251,2	16,7	2399,8	196
Alumiini Al	µg/l	73	5	310	109
Rauta Fe	µg/l	260	18	7800	224
Mangaani Mn	µekv/l	0,7	0,04	9,8	201
Kemiallinen hapentarve (COD <sub>Mn</sub> )	mg/l O <sub>2</sub>	9,1	1	35,7	226
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> )*	µekv/l SO <sub>4</sub>	56,9	16,6	525,1	176
Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)	µekv/l	0,9	0	59,3	216
Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)	µekv/l	0,4	0,7	55	219
Kokonaisfosfori	µg/l	12	3	160	227
Vety (H <sup>+</sup> )	µekv/l	0,2	0,1	31,6	227
Kloridi Cl	µekv/l	31,0	11,3	163,6	197
Orgaaninen kok.hiili <sup>1)</sup> (TOC)	mg/l	8	2,6	25,9	226
Org.anioni <sup>2)</sup>	µekv/l	59,1	16	182,3	226
Org. anioni <sup>3)</sup>	µekv/l	30,7	-655,1	411,3	172

\* Merisuolakorjattu arvo, 1) Orgaaninen kokonaishiili:  $TOC = 1,9 + 0,67(COD_{Mn} \text{ mg O}_2/l)$

2) Orgaaninen anioni Oliverin menetelmällä,

3) Orgaaninen anioni ionitasapainolaskelmalla

Tutkimusalueella happamoituneet ja happamoitumisherkät järvet jakaantuivat melko epätasaisesti Pudasjärven ja Taivalkosken alueille (kuvat 14 ja 15). Vierekkäisten järvien puskurikyky vaihteli suuresti eikä alueellisesti selkeitä happamoituneiden järvien ja hyvän puskurikyvyn omaavien järvien keskittymiä ollut. Tarkasteltaessa pelkästään happamoitumisherkkiä järviä voitiin havaita Pudasjärven lounaisosien suoalueille sijoittuva happamoitumisherkkien järvien ryhmä. Lähes kaikilla Kuusamon alueen järvillä puskurikyky oli hyvä. Kuusamon järvien alkaliniteettiarvojen jakaantumisessa voitiin havaita koordinaatin 7330 tasolla kulkeva Kuusamon eteläosat kattavan graniittigneissialueen ja pohjoisosien emäksisten kivilajien alueen välinen rajavyöhyke. Sen pohjoispuolella sijaitsevien järvien alkaliniteetti oli erittäin hyvä ( $\geq 0,15$  mekv/l).

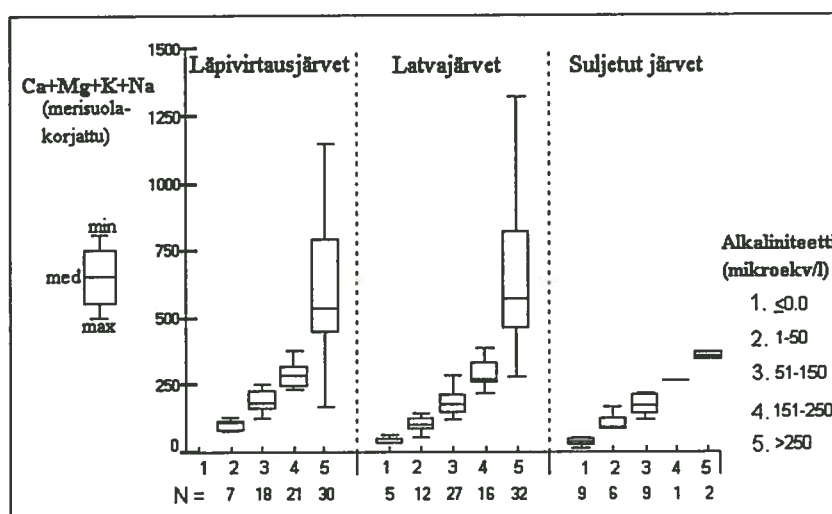
#### 4.3.1 Emäskationipitoisuus

Tutkimusalueen järvissä kalsium ja magnesium olivat pääkationeja. Kalsium pitoisuuksien mediaani oli 138,1 µekv/l ja magnesiumpitoisuuksien mediaani 63,6 µekv/l. Järvien emäskationipitoisuuksilla ja alkaliniteetilla oli voimakas positiivinen korrelaatio kaikilla järvityypeillä (kuva 16). Kaliumin (med. 9,8 µekv/l) ja natriumin (med. 26,1 µekv/l) pitoisuudet olivat kalsiumia ja magnesiumia vähäisempiä.

Järvityyppien emäskationipitoisuuksissa oli huomattavia eroja. Korkeimpia emäskationipitoisuudet olivat läpivirtausjärvissä (med. 298,2  $\mu\text{ekv/l}$ ) ja toiseksi korkeimpia latvajärvissä (med. 260,7  $\mu\text{ekv/l}$ ). Suljettujen järvien emäskationipitoisuudet olivat selvästi alhaisimpia (med. 122,6  $\mu\text{ekv/l}$ ). Läpivirtausjärvien kalsiumpitoisuuksien mediaani oli kolminkertainen ja magnesium- ja natriumpitoisuuksien mediaani yli kaksinkertainen suljettuihin järviin verrattuna. Happamoituneiden ja happamoitumisherkkien järvien emäskationipitoisuudet olivat huomattavasti alhaisempia kuin hyvin puskuroitujen järvien emäskationipitoisuudet.

Tutkimusalueella järvien korkeimmat emäskationipitoisuudet ( $> 500 \mu\text{ekv/l}$ ) sijoittuivat Kuusamon pohjoisosiin ja pienimmät pitoisuudet ( $\leq 300 \mu\text{ekv/l}$ ) Pudasjärvelle sekä Taivalkosken keskiosiin (kuva 17). Kuusamon alueen järvissä emäskationipitoisuudet olivat kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin osalta selvästi korkeampia kuin esimerkiksi Etelä-Suomen järvissä keskimäärin (Kämäri 1984).

Runsaasti maa-alkalimetalleja sisältävien emäksisten mineraalien esiintyminen maa- ja kallioperässä on pääasiallinen luonnonvesien emäskationipitoisuutta säätelevä tekijä (Lahermo 1970). Niinpä kalsium- ja magnesiumioneja sanotaankin geologisiksi vedenlaatumuuttujiksi, jotka indikoivat valuma-alueen rapautumisintensiteettiä ja happaman laskeuman neutralointikykyä (Kämäri 1984). Emäksisten kivilajien korkeat kalsium- ja magnesiumpitoisuudet heijastuvat alueellisesti vesistöjen emäskationipitoisuuksiin. Sensijaan natriumin ja kaliumin määrään vesistöissä vaikuttavat enemmän lähde mineraalien rapautumisherkkyys ja rapautumisaste kuin niiden suhteellinen osuus maa- ja kallioperässä (Rönkä ym. 1980).



Kuva 16. Veden alkaliniteetin ja emäskationipitoisuuksien korrelaatio eri järvityypeillä.

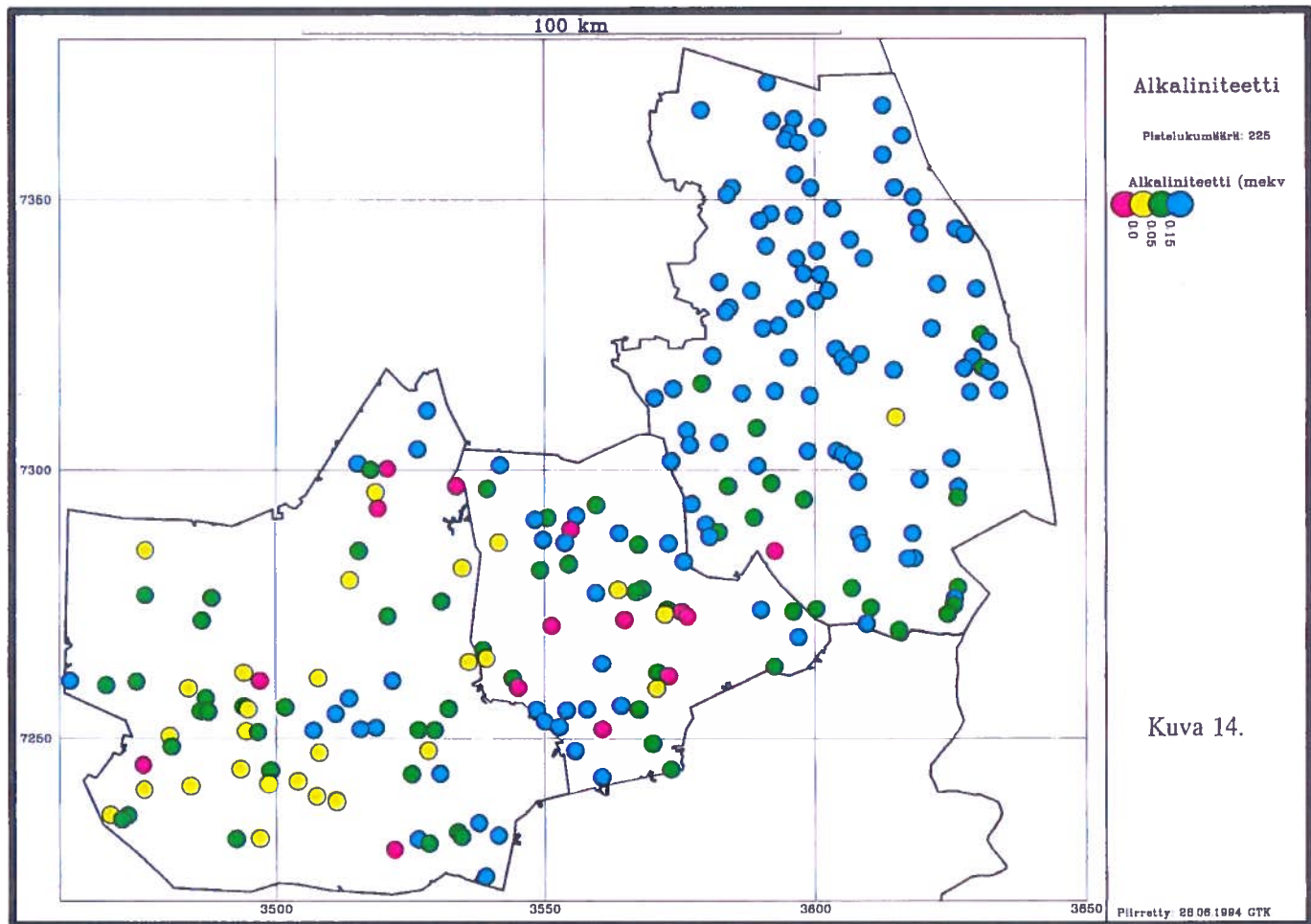
Kuva 14. Tutkimusalueen järvien alkaliniteetti (mekv/l). Alkaliniteettiluokat:  $\leq 0.0$ ,  $0.01-0.05$ ,  $0.06-0.15$ ,  $> 0.15$ .

Kuva 15. Moreenin hienoaineksen emäskationisumma (mekv/kg) ja järvien alkaliniteetti (mekv/l). Alkaliniteettiluokat:  $\leq 0.0$ ,  $0.01-0.05$ ,  $0.06-0.15$ ,  $> 0.15$ .

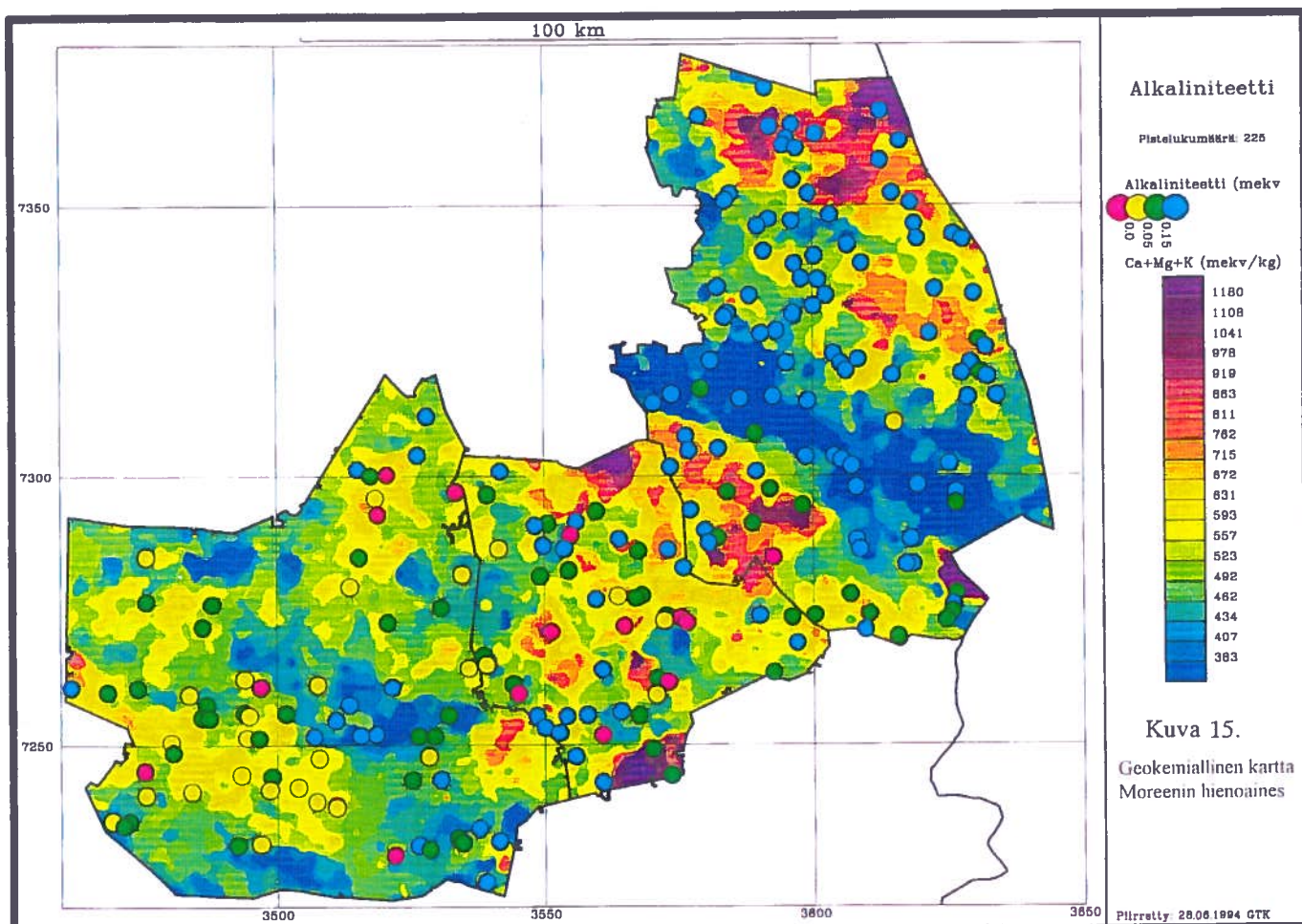
Kuva 17. Tutkimusalueen järvien emäskationipitoisuudet ( $\mu\text{ekv/l}$ ). Pitoisuusluokat:  $\leq 100$ ,  $101-300$ ,  $301-500$ ,  $> 500$ .

Värikuvat seuraavilla sivuilla.



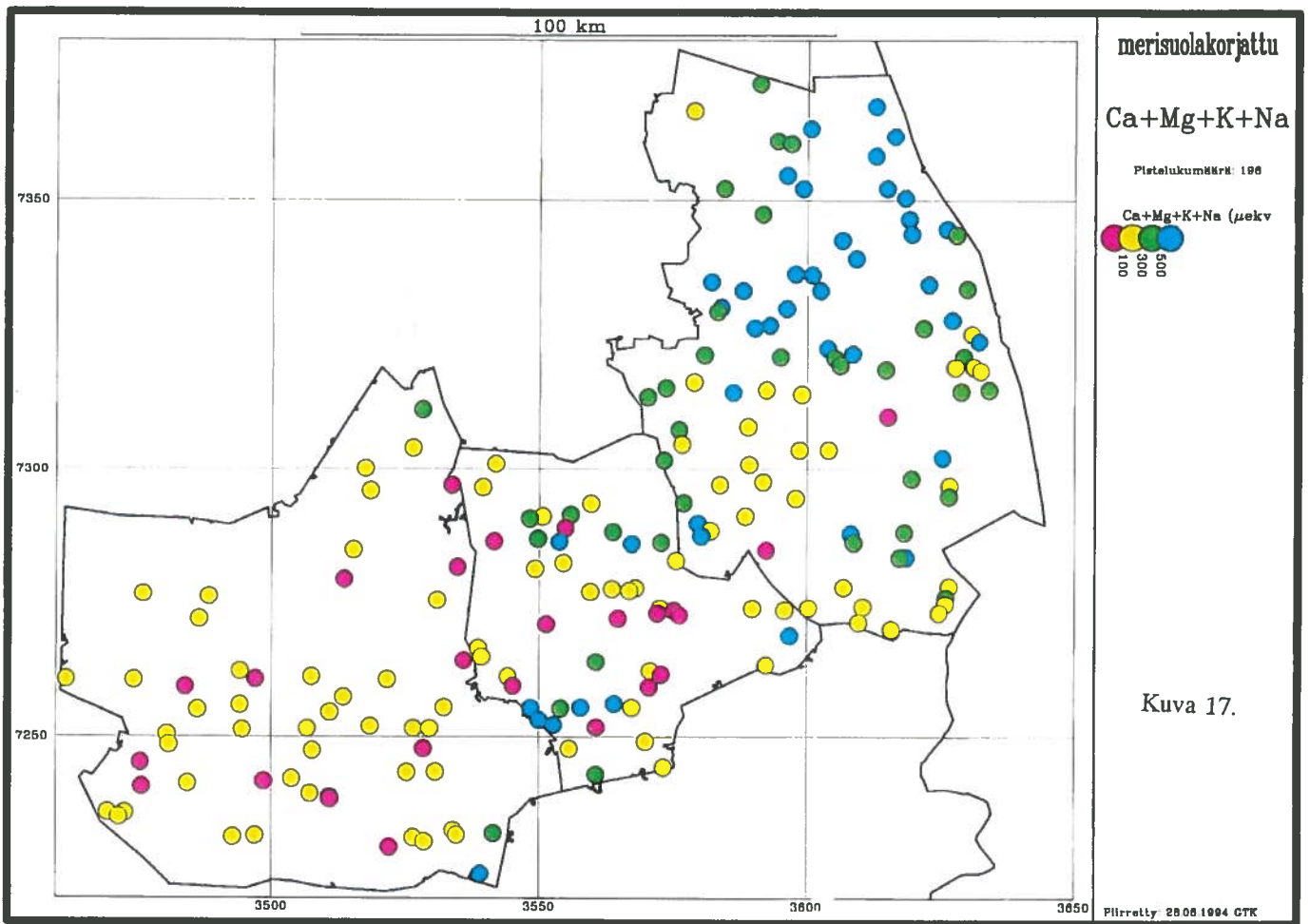


Kuva 14.



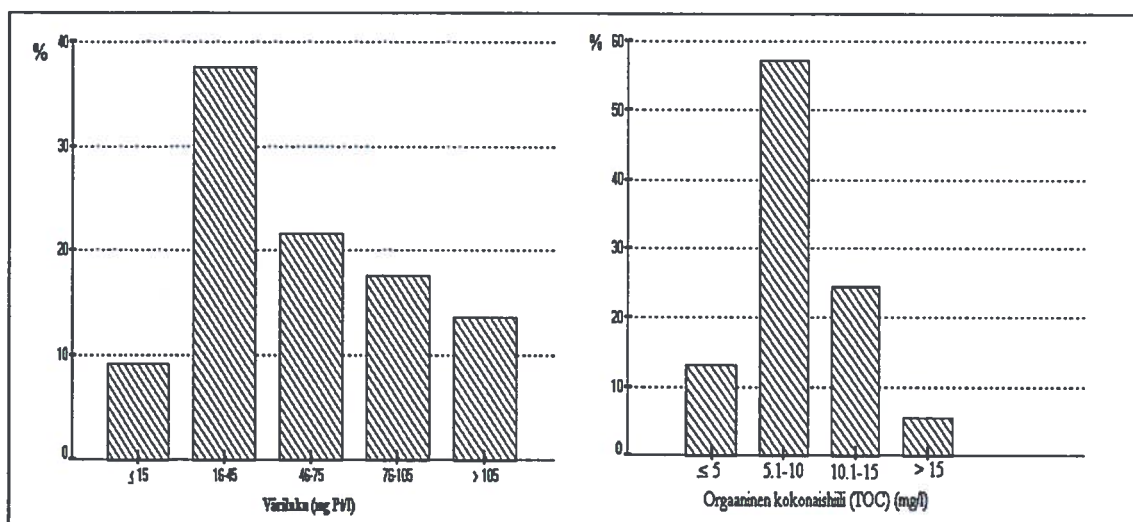
Kuva 15.

Geokemiallinen kartta  
Moreenin hienoaies



### 4.3.2 Humuksen vaikutus vesistöjen happamuuteen

Järvien kemiallisen hapenkulutuksen ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) mediaani koko järviaineistolla oli 9,1 mg/l, väriluvun 50 mg Pt/l ja orgaanisen kokonaishiilen (TOC) 8,0 mg/l. Järviä, joiden TOC-arvo oli alhainen ( $\leq 5$  mg/l) oli 13 % ja järviä, joiden TOC oli korkea ( $> 15$  mg/l) oli vain 5 % koko järviaineistosta (kuva 18). Väriluvun mediaaniarvo oli kaikilla järvityypeillä 50 mg Pt/l. Koko aineistossa kirkkaita järviä (väri  $< 15$  mg Pt/l) oli 9 % ja ruskeavetisiä humusjärviä (väri  $\geq 45$  mg Pt/l) 54 %. Näistä humusjärvistä 42 %:lla pH-arvo oli alle 6,5. Orgaanisen kokonaishiilen ja kemiallisen hapenkulutuksen mediaaniarvot olivat suurimpia läpivirtausjärvillä, vaikkakin erot muihin järvityyppeihin nähden olivat pieniä.



Kuva 18. Väriluvun ja orgaanisen kokonaishiilen (TOC) pitoisuuksien jakaumat koko järviaineistossa.

Vesistössä orgaanisen aineksen (humuksen) runsaus yhdistetään yleensä alhaisiin pH-arvoihin. Tutkimusalueella soita on runsaasti, joten orgaanisen happamuuden merkityksen voisi olettaa olevan huomattava. Tutkimusaineistossa ei kuitenkaan voitu havaita tilastollista riippuvuutta orgaanisen aineksen määrää kuvaavien muuttujien sekä alkaliniteettiarvojen eikä myöskään orgaanisen aineksen määrän ja pH-arvojen välillä. Humuksen aiheuttamalla orgaanisella happamuudella ei siis tilastollisesti tarkasteltuna näyttäisi olevan kovinkaan merkittävää vaikutusta tutkimusaineiston järvien happamuuden säätelyssä. Syynä tähän saattaisi olla esimerkiksi se, että TOC-arvot olivat korkeimpia läpivirtausjärvissä, joissa myös emäskationipitoisuus ja alkaliniteetti ovat korkeimmillaan. Toisin sanoen humuksen aiheuttama happamoittava vaikutus puskuroituu, eikä aiheuta pH-arvojen laskua.

Voitiin kuitenkin havaita, että korkeimmat orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet (15-25 mg/l) sijoituivat Pudasjärven lounaisosien suovaltaisille ja reliefiltään tasaisille alueille, missä eloperäisten maalajien osuus on suurin (kuva 19). Taivalkoskella ja Kuusamossa pitoisuudet olivat alhaisempia ( $< 15$  mg/l). Näillä alueilla soilta kulkeutuvan humuksen vaikutus vesistöjen happamuuteen jäänee joka tapauksessa Pudasjärveä vähäisemmäksi (ks. kuva 30).

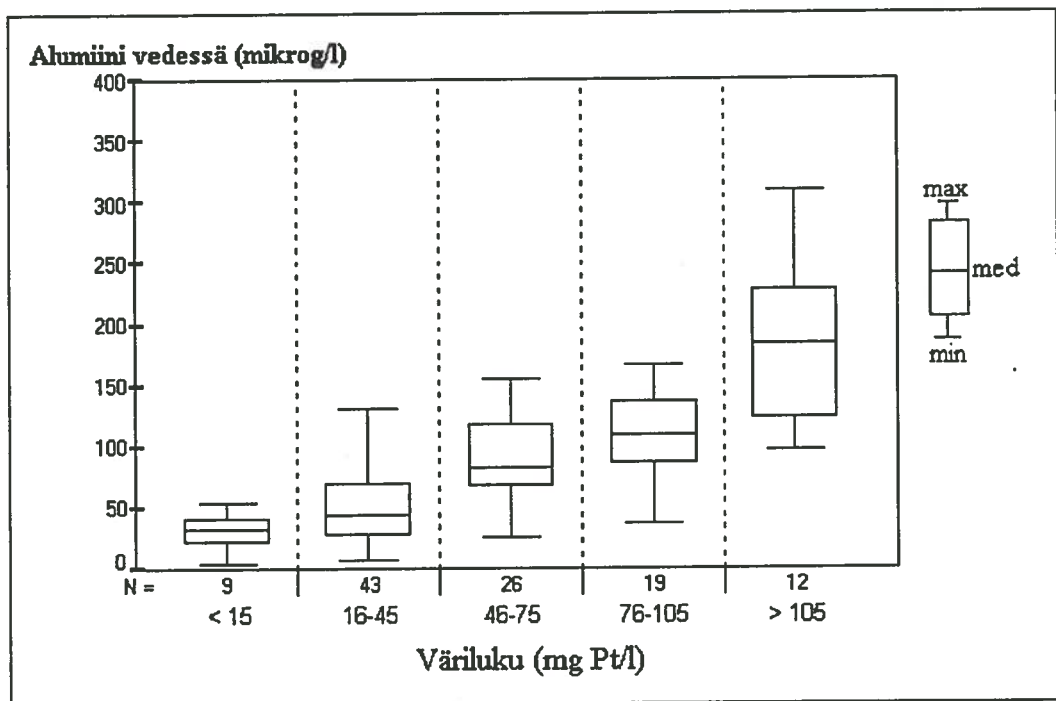
Tutkimusalueella suurimmat väriluvun arvot sijoituivat osittain TOC-arvojen kanssa samoille alueille (kuva 20). Kuitenkin väriluvun jakaantumisessa oli huomattavaa



vaihtelua ja korkeita arvoja löytyi myös Kuusamon keski- ja eteläosista. Väriluvun jakaantuminen Kuusamossa näyttäisi noudattavan Pohjanmaan ja Peräpohjolan aapasoiden esiintymisalueiden rajaa. Pohjoispuolella väriarvot olivat eteläosaa alempia.

Kortelaisen ja Mannion (1990) tutkimusten mukaan luontaisesti happaman, runsaasti humusta sisältävän järiveden pH-arvo on riippuvainen valuma-alueen ominaisuuksista ja orgaanisen aineksen ja orgaanisten happojen konsentraatiosta, ei niinkään järven maantieteellisestä sijainnista suhteessa laskeuman määrään. Orgaanisella happamuudella olisi siis hyvin keskeinen merkitys järvien happamuuden säätelyssä (Kortelainen 1986).

Veden alumiinipitoisuuden ja orgaanisen aineksen määrää kuvaavien muuttujien välillä oli selvä riippuvuus (kuva 21). Tämä viittaa siihen, että veden alumiini on maaperästä liuennutta epäorgaanista alumiinia, joka on vesistöissä sitoutunut orgaaniseen materiaaliin. Järvistä 68 %:ssa oli Al-pitoisuus yli 50 µg/l. Niistä 72 %:ssa orgaanisen kokonaishiilen määrä oli yli 45 mg/l. Alumiinin pitoisuudet vedessä kasvoivat pH-arvojen laskiessa. Alumiinin osalta voidaan myös todeta, että moreenin hienoaineksen alumiinipitoisuuksien kasvaessa voitiin järvien alumiinipitoisuuksissa havaita vain vähäistä nousua. Moreenin ja veden Al-pitoisuuksien välinen korrelaatio ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

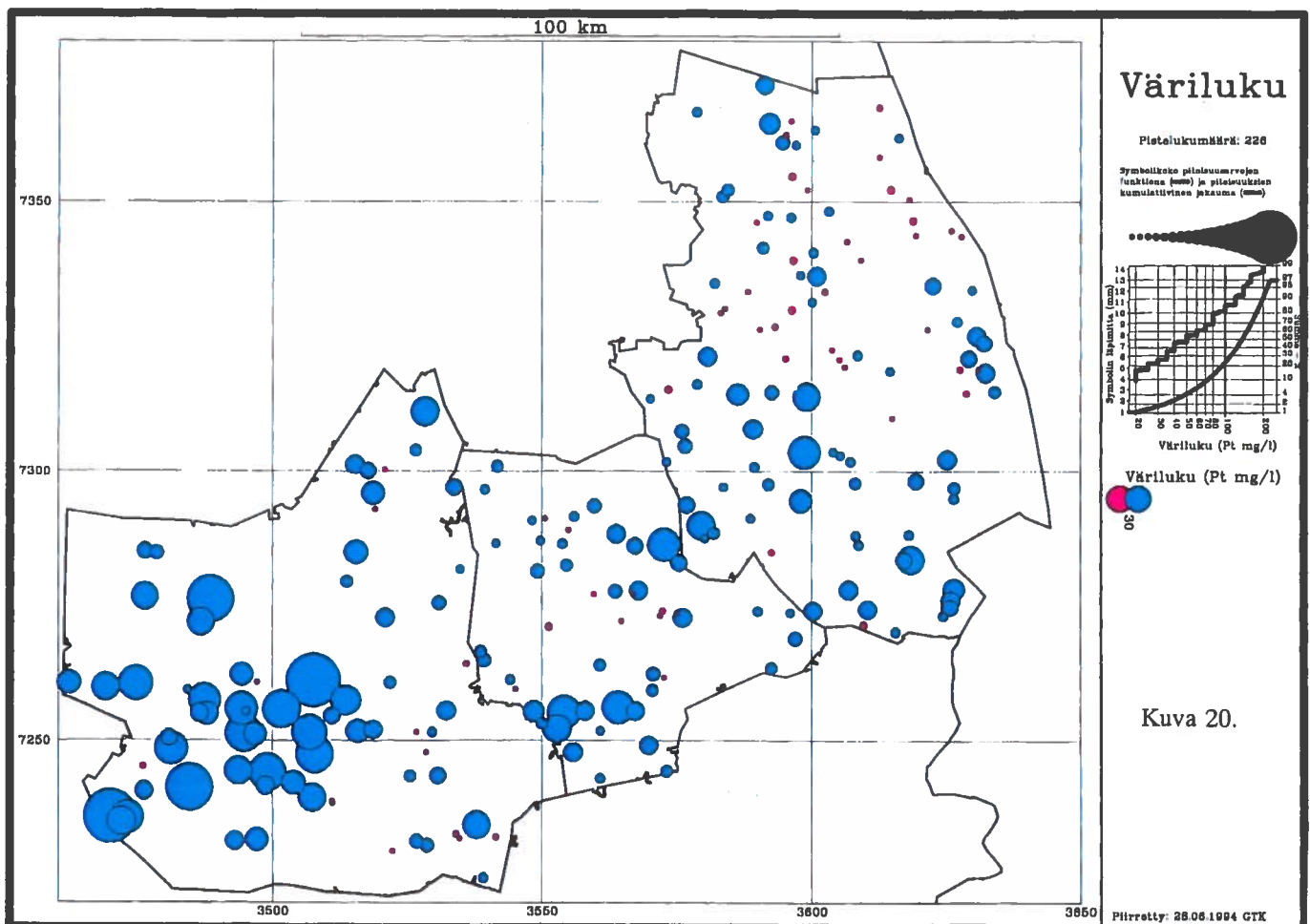
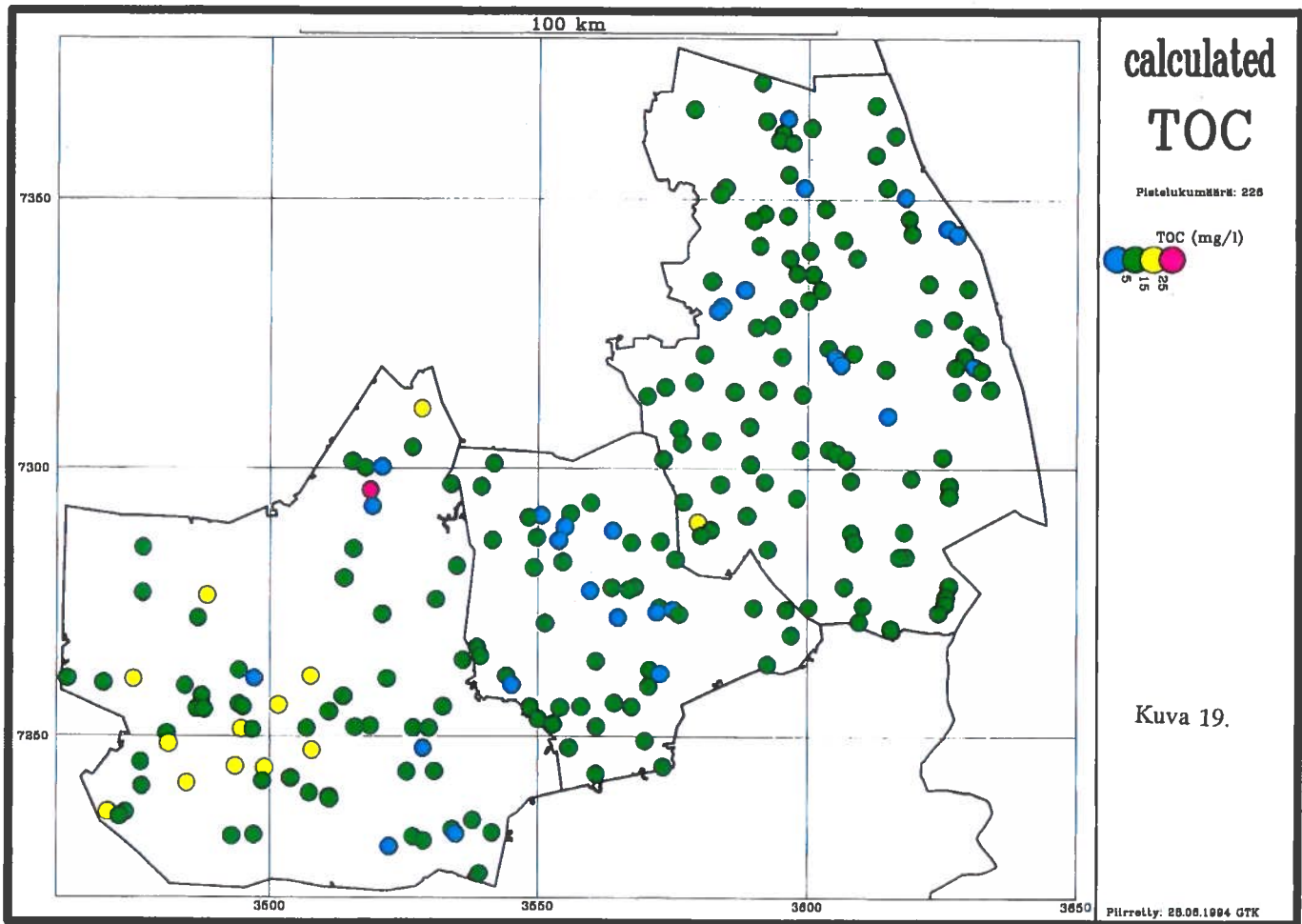


Kuva 21. Veden alumiinipitoisuus ja orgaanisen aineksen (humuksen) määrä ovat selvästi yhteydessä toisiinsa.

Kuva 19. Orgaanisen kokonaishiilen (TOC) jakaantuminen tutkimusalueella (mg/l). Pitoisuusluokat:  $\leq 5$ , 5.1-15, 15.1-25,  $> 25$ .

Kuva 20. Järvien väriluvun jakaantuminen tutkimusalueella (mg Pt/l). Luokat:  $\leq 30$ ,  $> 30$ .

Värikuvat seuraavalla sivulla.





### 4.3.3 Sulfaattipitoisuus

Vesistöjen korkeat sulfaattipitoisuudet yhdistetään yleensä happamoittavan rikkilaskeuman vaikutuksiin. Tutkimusalueen järvien korkeimmat sulfaattipitoisuudet ( $> 72 \mu\text{ekv/l}$ ) sijoittuivat lähes yksinomaan Kuusamoon Kitkajärvien pohjois- ja itäpuolisille alueille (Kuva 22 sivulla 35). Syynä korkeiden sulfaattipitoisuuksien keskittymiseen lienevät alueella sijaitsevat sulfidimalmiesiintymät (esim. Myllymaa 1986). Ilmaperäisestä sulfaatista tuskin on kysymys, sillä rikkidioksidipitoisuudet alueella ovat alhaisia, laskeuman määrän ollessa n.  $0,5 \text{ g/m}^2$  ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ) vuodessa. Tosin myös soiden ojitus ja siitä seuraava pohjaveden pinnan vaihtelu voi johtaa eloperäisiin maalajeihin pidettyneen rikin hapettumiseen ja huuhtoutumiseen vesistöihin (esim. Pätilä 1980).

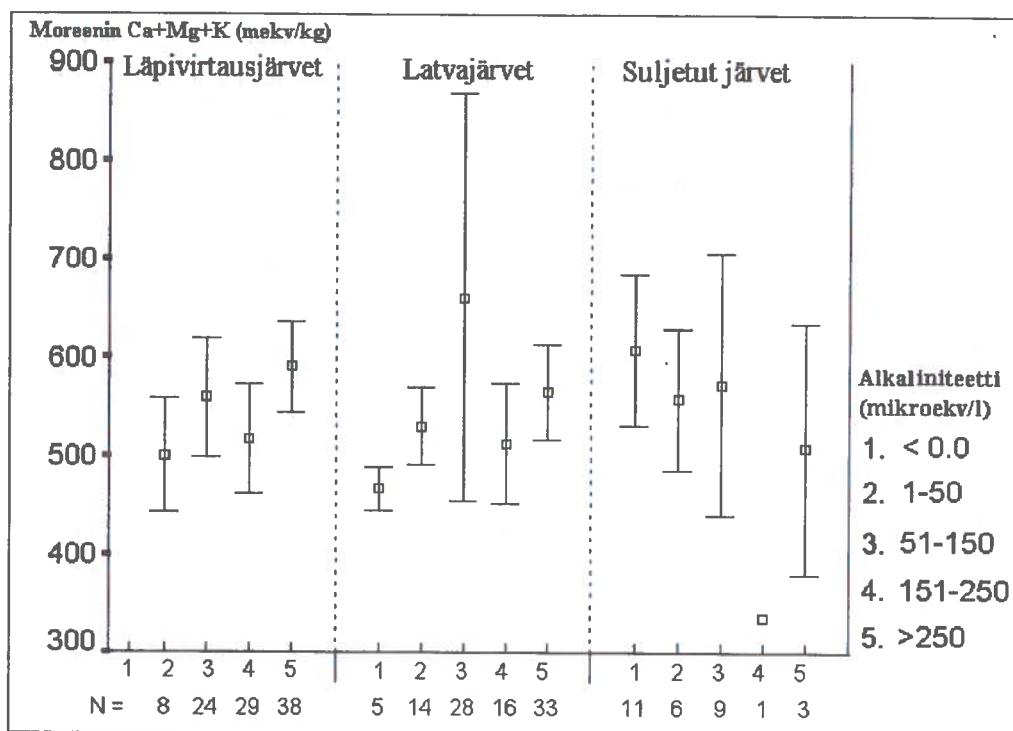
## 4.4 Valuma-alueen ominaisuuksien vaikutus järvien puskurikykyyn

### 4.4.1 Valuma-alueen happamoitumisherkkyyys

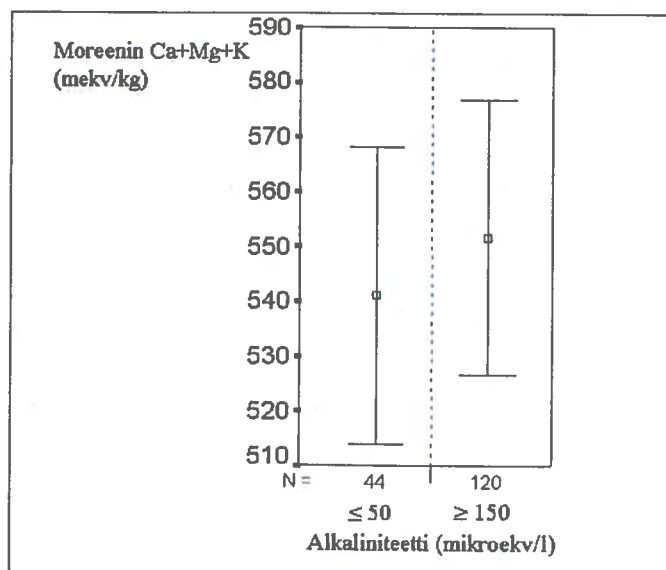
Maaperän kemiallinen koostumus on maakerroksen paksuuden ja raekoostumuksen ohella tärkeä valuma-alueen ja vesistön happamoitumisherkkyyttä säätelevä tekijä. Runsaasti emäskationeja sisältävä hienorakeinen maaperä saa aikaan veden viipymän pidentymisen ja mahdollistaa pohjavesiin suotautuvan infiltraatioveden tehokkaan neutraloinnin.

Järvityyppejä erikseen vertailtaessa havaittiin, että moreenin emäskationipitoisuuden kohoamisella ei näyttäisi olevan ainakaan huomattavaa järviveden emäskationipitoisuutta kasvattavaa vaikutusta (kuva 23). Selkein valuma-alueen maaperän puskuriominaisuuksien ja järven puskurikyvyn välinen yhteys oli läpivirtaus- ja latvajärvillä. Suljettujen järvien valuma-alueilla emäskationipitoisuuksien kasvulla ei näyttäisi olevan vesistön alkaliniteettia kasvattavaa vaikutusta. Tulosten tulkintaa tosin vaikeuttivat suljettujen järvien vähäinen määrä aineistossa sekä pohjavesijärvien mahdollisen mukanaolon aiheuttama vaihtelu. Tämän seurauksena monet läpivirtaus- ja latvajärvillä havaitut lainalaisuudet jäivät suljetuilla järvillä epäselviksi. Koko aineistoa tarkasteltaessa voitiin kuitenkin todeta, että happamoituneiden ja happamoitumisherkkien järvien valuma-alueilla moreenin hienoaaines sisältää vähemmän emäskationeja kuin erittäin hyvän puskurikyvyn omaavien järvien valuma-alueilla (kuva 24). Toisin sanoen runsaasti emäskationeja sisältävillä valuma-alueilla järvien alkaliniteetti-arvot olivat korkeampia kuin emäskationien suhteen köyhillä alueilla.

Vesistöt saavat vetensä useaa eri reittiä: suoraan sateena, valuntana pintamaasta sekä valuntana pohjavedestä. Veden kulkeutuessa valuma-alueella lukuisat kemiallis-fyysikaaliset ja biologiset tekijät muuttavat sen laatua sekä maaperässä että itse vesistössä. Tämän seurauksena vesistön veden laatu useimmiten poikkeaa huomattavasti sadeveden koostumuksesta. Vesistön happamuus on siis riippuvainen toisaalta ulkoisen laskeuman sisältämien happamoittavien yhdisteiden määrästä ja toisaalta valuma-alueen ja vesistön sisäisestä herkkyydestä (Kämäri 1989).



Kuva 23. Valuma-alueiden moreenin hienoaineksen emäskationien ekvivalenttisuuden ja järvien alkaliniteetin korrelaatio esitettynä 95 %:n luottamusväleinä keskiarvoille.



Kuva 24. Moreenin hienoaineksen emäskationipitoisuuden ja järvien alkaliniteetin korrelaatio esitettynä 95 %:n luottamusväleinä keskiarvoille. Happamoituneiden ja happamoitumisherkkien järvien valuma-alueilla moreenin hienoaines sisältää vähemmän emäskationeja kuin erittäin hyvän puskurikyvyn omaavien järvien valuma-alueilla.

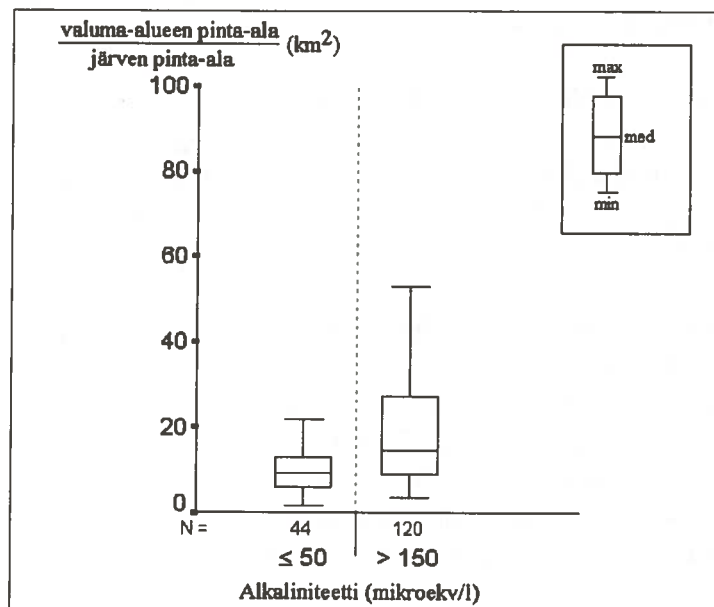
#### 4.4.2 Valuma-alueen pinta-ala

Tutkimuksessa havaittiin, että valuma-alueen pinta-alan ja järven pinta-alan suhteen kasvu nostaa alkaliniteetin mediaaniarvoja. Hyvän puskurikyvyn omaavien järvien

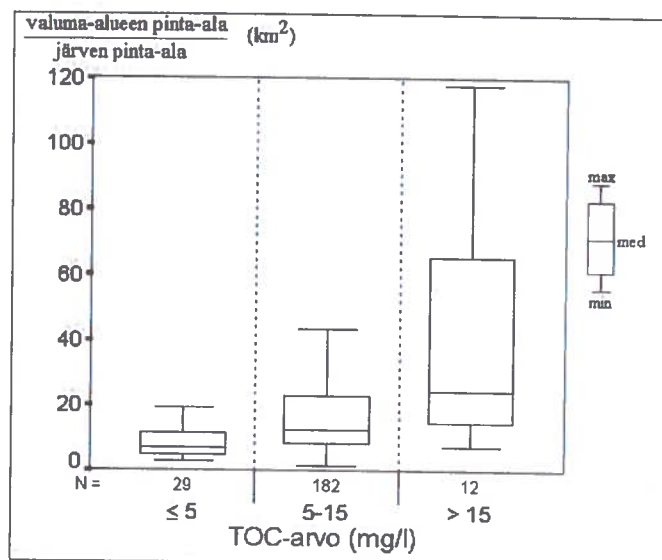
valuma-alueet olivat siis laajempia suhteessa järven kokoon kuin happamoituneiden ja happamoitumisherkkien järvien valuma-alueet (kuva 25). Laajalta valuma-alueelta tulevat valumavedet sekoittuvat virratessaan, ja niinpä mikään yksittäinen ominaisuus ei pääse määrittämään järveen tulevan veden laatua. Laajan valuma-alueen merkitystä alkaliniteetin kannalta kuvaa se, että hyvän puskurikyvyn omaavista järvistä (alkaliniteetti  $\geq 150 \mu\text{ekv/l}$ ) 57 % oli läpivirtausjärviä, 40 % latvajärviä ja vain 3 % suljettuja järviä.

Valuma-alueen pinta-alan kasvu lisää todennäköisyyttä, että eri etäisyyksillä järvioltaan ympäristössä sijaitsevat ominaisuuksiltaan erilaiset kallio- ja maaperäalueet vaikuttavat järviveden laatuun. Esimerkiksi vesistöalueen latvaosiin keskittynyt hajakuormitus tai laajat suoalueet lisäävät ravinteiden ja humuksen määrää alapuolisissa vesistöissä. Varsinkin läpivirtausjärvillä valuma-alueet ovat laajoja ja järven vesivarasto koostuu ominaisuuksiltaan erilaisista vesimassoista, jotka kuvastavat vedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä hyvin laajalta alueelta. Vastaavasti erot valuma-alueen maaperän kalsium- ja magnesiumpitoisuuksissa johtavat myös eroihin vesistöjen pH-arvoissa ja alkaliniteetissa. Kuitenkin Kähkösen (1993) mukaan valuma-alueen emäskationipitoisuuden kasvaessa riittävän suureksi ei valuma-alueen laajuudella ole enää merkittävää vaikutusta järven alkaliniteetin kannalta. Tutkimuksessa käytetyn järviaineiston suurimmaksi puutteeksi osoittautui valuma-alueiden pinta-alojen suuri hajonta, joka vaikeutti jonkin verran valuma-alueen koon perusteella tehtäviä tulkintoja.

Valuma-alueen pinta-alalla on emäskationipitoisuuden ja alkaliniteetin lisäksi merkitystä myös vesistöön huuhtoutuvan orgaanisen aineksen määrän ja sen aiheuttaman orgaanisen happamuuden kannalta. Tutkimusalueella orgaanisen kokonaishiilen (TOC) konsentraatiot kasvoivat selkeästi valuma-alueen pinta-alan kasvaessa järven pinta-alaan nähden (kuva 26). Suurimmat TOC-arvot keskittyivät siis pieniin järviin, joilla oli suuri valuma-alue.



Kuva 25. Valuma-alueen pinta-alan ja järven pinta-alan suhteen vaikutus järven alkaliniteettiin happamoituneilla ja happamoitumisherkillä (alkaliniteetti  $\leq 50 \mu\text{ekv/l}$ ) sekä hyvin puskuroiduilla järvillä (alkaliniteetti  $\geq 150 \mu\text{ekv/l}$ ).



Kuva 26. Valuma-alueen pinta-alan ja järven pinta-alan suhteen vaikutus veden orgaanisen kokonaishiilen määrään.

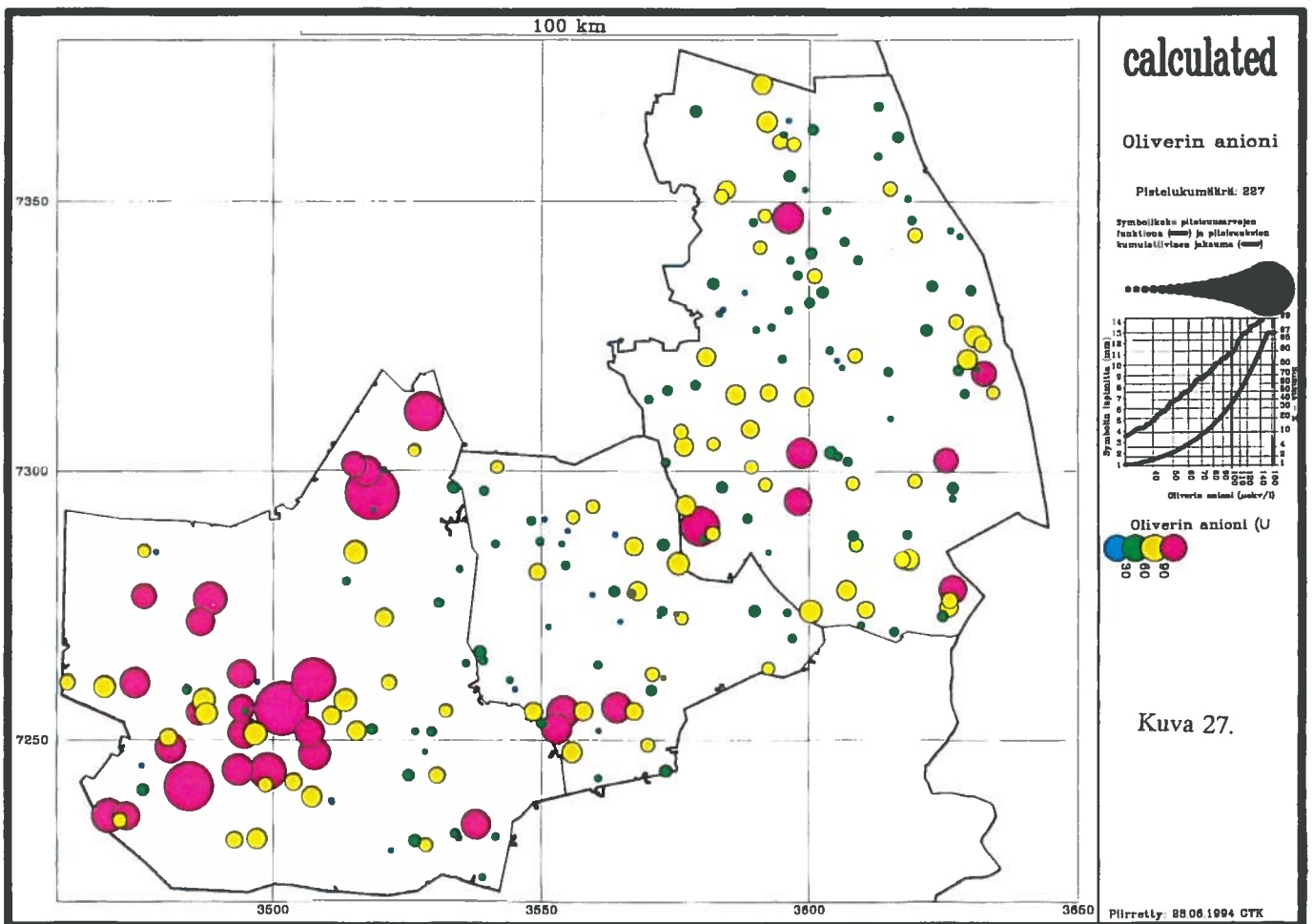
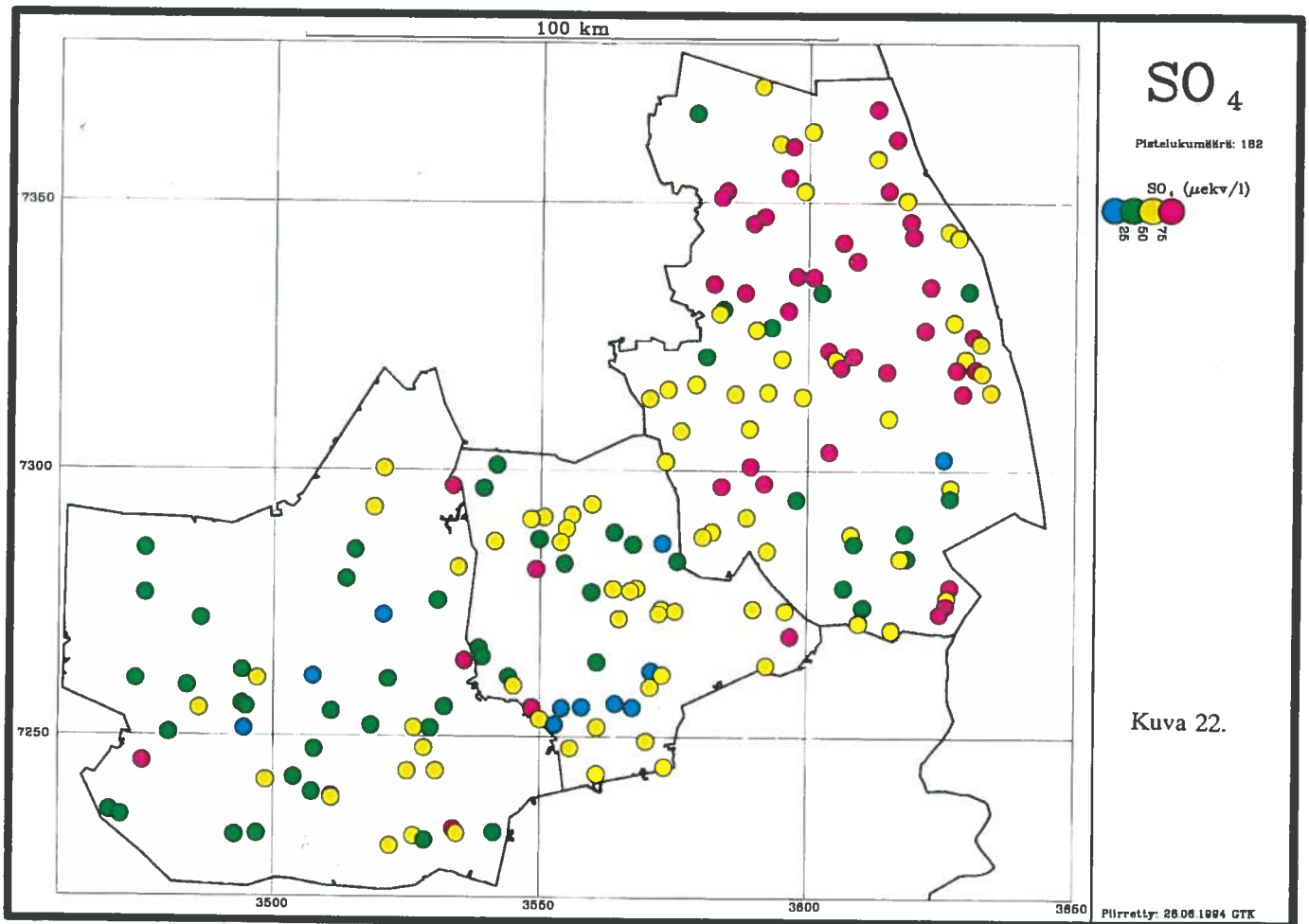
#### 4.6 Happamuuden alkuperä

Laskeuman vahvojen happojen ja luontaisesti esiintyvien heikkojen happojen vaikutukset järvien happamuuteen ovat yleensä vaikeasti erotettavissa toisistaan. Tutkimusalueella korkeat orgaanisten happojen pitoisuudet näyttivät kuitenkin alentavan järvivesien pH- ja alkaliniteettiarvoja, sillä esimerkiksi Pudasjärven länsiosissa esiintyi happamoitumisherkkiä ja happamoituneita järviä alueilla, joilla orgaanisten anionien pitoisuus vedessä on korkea ja happamoittavan laskeuman määrä on hyvin pieni (kuva 27, ks. kuva 14).

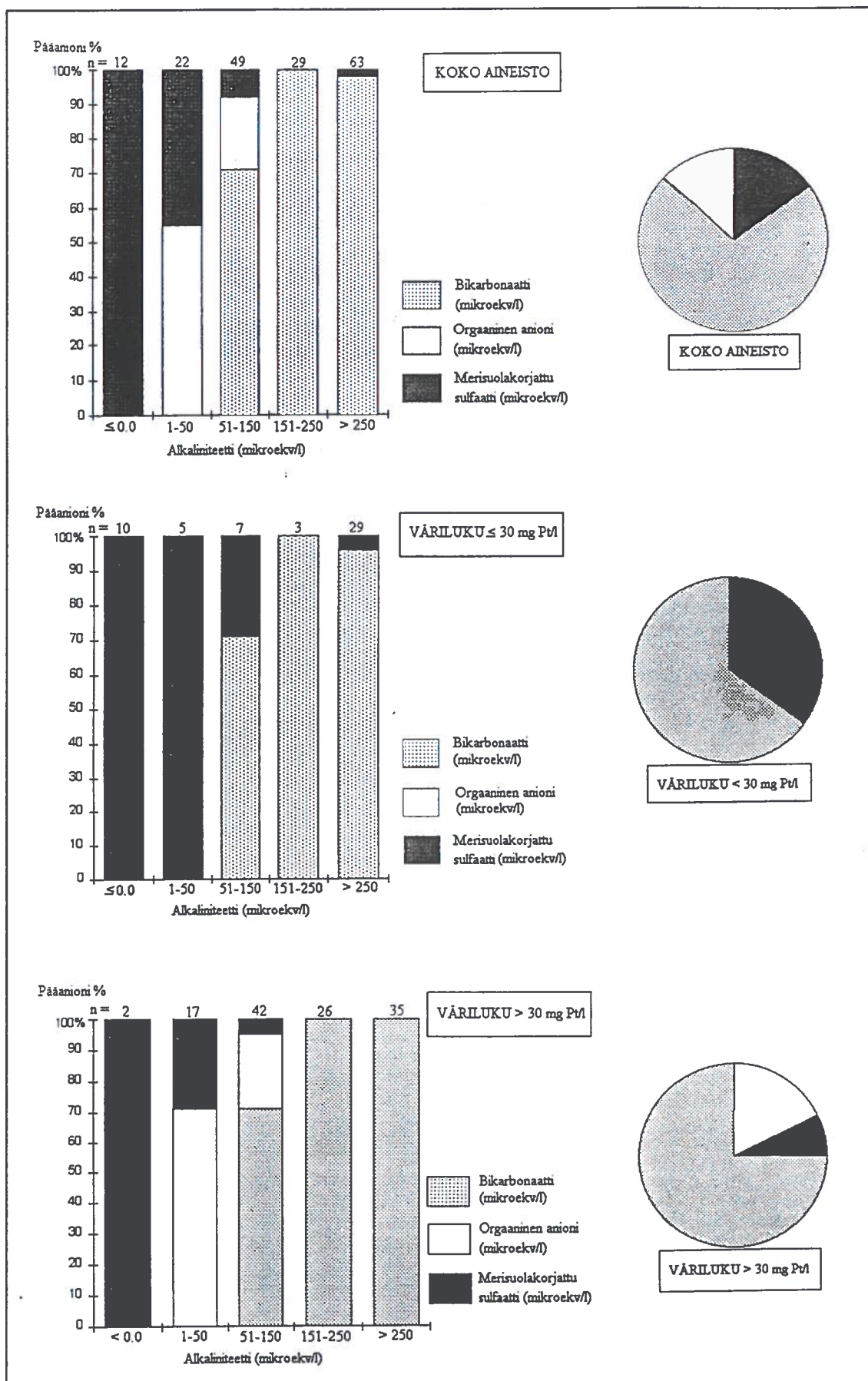
Tutkimusalueella bikarbonaatti oli vallitseva anioni 72 %:ssa, orgaaninen anioni 13 %:ssa ja sulfaatti 15 %:ssa kaikista järvistä (kuva 28). Tulkinnan tarkentamiseksi järvi-aineisto luokiteltiin kirkkaisiin järviin (väriluku  $\leq 30$  mg Pt/l) ja humusjärviin (väriluku  $> 30$  mg Pt/l). Sulfaatti oli vallitseva anioni kaikissa happamoituneissa järvissä. Sulfaatti oli vallitsevana anionina myös 29 %:ssa happamoitumisherkistä humusjärivistä sekä kaikissa kirkkasvetisissä, puskurikyvyltään happamoitumisherkiksi luokitelluissa järvissä. Orgaaninen anioni oli vallitsevana 71 %:ssa happamoitumisherkistä humusjärivistä. Humuspitoisten järvien happamoitumisherkkyys määräytyy valuma-alueen happamoitumisherkkyuden ja huuhtoutuvan orgaanisen aineksen määrän yhteisvaikutuksesta. Kirkkaiden järvien happamoitumisherkkyys määräytyi tutkimusalueella pääasiassa valuma-alueen maaperän happamoitumisherkkyuden vaikutuksesta. Pienen valuma-alueen omaavat humuspitoiset ja kirkkaat latvajärvet ja suljetut järvet olivat happamoitumisherkempiä kuin läpivirtausjärvet.

Kuva 22. Järvien sulfaattipitoisuudet tutkimusalueella ( $\text{SO}_4$   $\mu\text{ekv/l}$ ). Pitoisuusluokat:  $\leq 25$ , 26-50, 51-75,  $> 75$ .

Kuva 27. Oliverin ym. (1983) menetelmällä määritetyn orgaanisen anionin pitoisuudet tutkimusalueen järvissä ( $\mu\text{ekv/l}$ ). Pitoisuusluokat:  $\leq 30$ , 31-60, 61-90,  $> 90$ . Värikuvat seuraavalla sivulla.







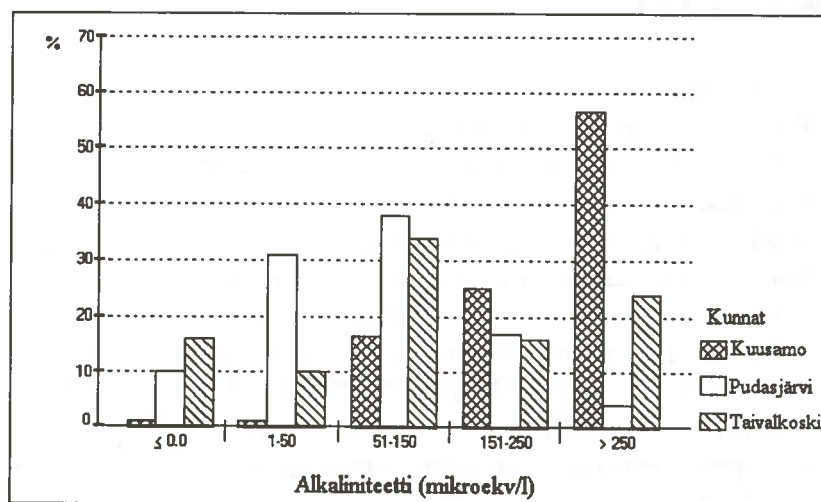
Kuva 28. Vallitsevat anionit koko järviaineistossa, humusjärvissä (väriluku > 30 mg Pt/l) ja kirkaissa järvissä (väriluku ≤ 30 mg Pt/l). Orgaaninen anioni on määritetty Oliverin ym. (1983) menetelmällä.

## 4.7 Kuntakohtainen tarkastelu

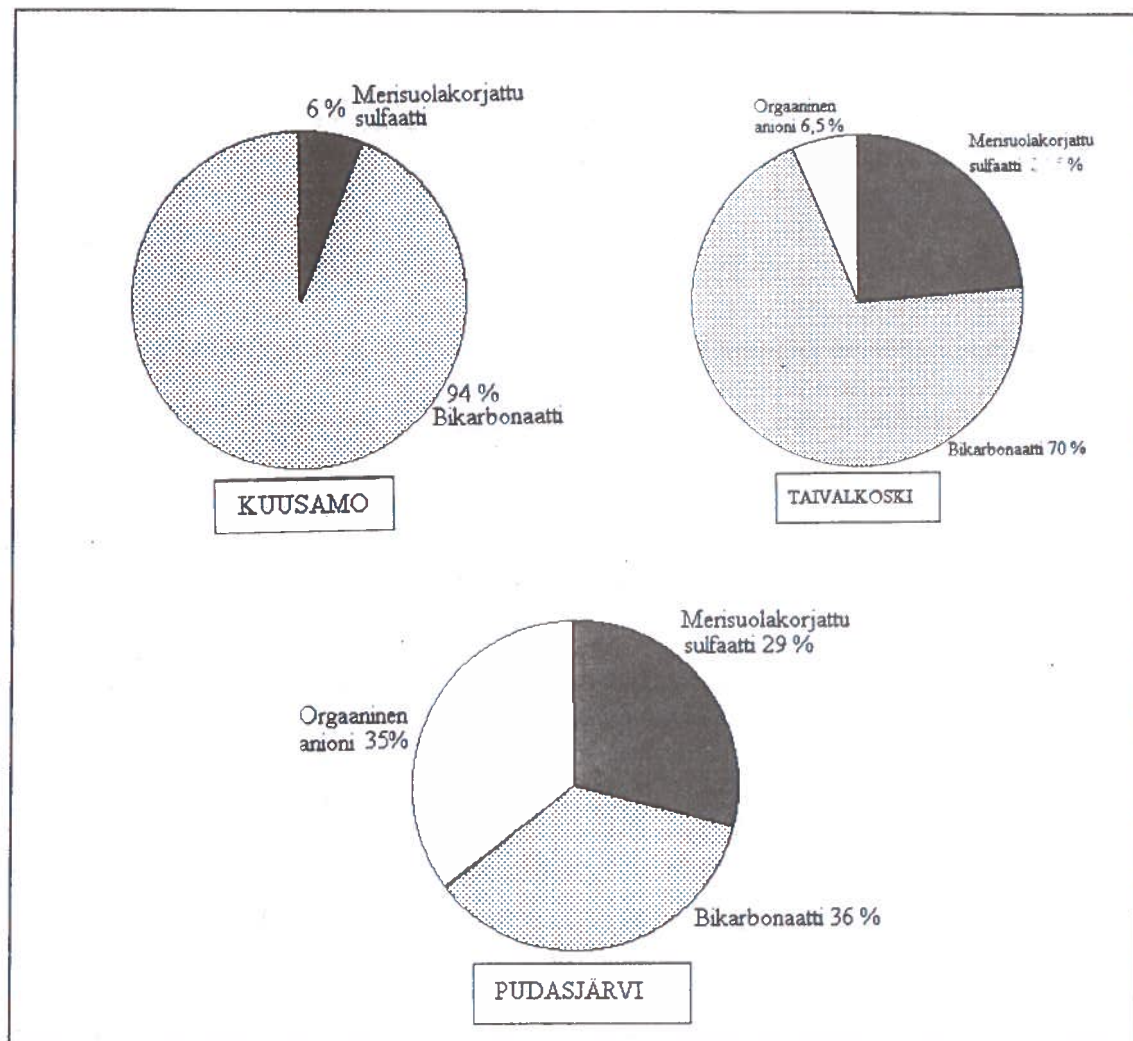
Tarkasteltaessa järvien happamoitumisherkkyyteen vaikuttavia tekijöitä kuntakohtaisesti havaittiin, että kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin pitoisuudet järvivesissä olivat korkeimpia Kuusamossa ja alhaisimpia Pudasjärvellä (liite 4). Kuusamon järvien emäskationisumman mediaani ( $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}+\text{Na}$ ) oli kaksinkertainen Taivalkosken ja kolminkertainen Pudasjärven vastaavaan arvoon verrattuna. Myös alkaliniteetin ja pH:n mediaaniarvot olivat Kuusamossa muita alueita huomattavasti korkeampia. Happamoituneita järviä oli eniten Taivalkoskella (16 %). Happamoitumisherkkien järvien määrä oli suurin Pudasjärvellä (31 %)(kuva 29). Kuusamon järvistä 57 %:lla puskuri-kyky oli erittäin hyvä (alkaliniteetti  $> 250$   $\mu\text{ekv/l}$ ). Orgaanisen kokonaishiilen (TOC) ja väriluvun mediaaniarvot olivat korkeimpia Pudasjärvellä. Runsaasti orgaanista ainesta sisältäviä humusjärviä (TOC  $> 15$   $\text{mg/l}$ ) oli Pudasjärven järvistä 16 %.

Yhteenvetona kuntakohtaisesta tarkastelusta voitiin todeta, että Kuusamon vesistöt olivat hyvin puskuroituja ja vähän orgaanista ainesta sisältäviä. Taivalkoskella ja erityisesti Pudasjärvellä orgaaninen happamuus oli merkittävämpää ja happamoituneiden sekä happamoitumisherkkien järvien määrä suurempi. Tutkimuksen käytännön merkityksenä voidaankin pitää mahdollisuutta soveltaa happamoitumistarkastelua ja koottua maa- ja kallioperä- sekä vesistötietoa kuntatasolla. Tieto happamoitumiselle alttiiden maaperäalueiden ja vesistöjen sijainnista antaa mahdollisuuden huomioida herkat alueet suunnittelussa.

Verrattaessa tutkimusalueen järvien vedenlaatua Kähkösen (1993) esittämiin Pohjois-Suomen ja Forsiuksen ym. (1990) esittämiin koko maan keskimääräistä vedenlaatua kuvaaviin tunnuslukuihin havaittiin, että alkaliniteetin mediaaniarvot olivat tutkimusalueella jonkin verran Pohjois-Suomen ja huomattavasti koko maan vastaavia arvoja korkeampia (liite 5). Myös emäskationisumman mediaani oli tutkimusalueella Pohjois-Suomea korkeampi. Väriluvun, kemiallisen hapenkulutuksen ja orgaanisen kokonaishiilen mediaaniarvot olivat tutkimusalueella Pohjois-Suomen arvoja korkeampia, mutta kuitenkin selvästi alhaisempia kuin koko maassa. Esimerkiksi järvien väriluvun mediaaniarvo koko maassa (100  $\text{mg Pt/l}$ ) oli kaksinkertainen tutkimusalueeseen verrattuna (50  $\text{mg Pt/l}$ ). Orgaanisen anionin merkitys järvien happamuutta säätelevänä tekijänä oli suurin Pudasjärvellä ja pienin Kuusamossa (kuva 30, liite 6).



Kuva 29. Järvien alkaliniteettiarvojen jakaumat Kuusamossa Taivalkoskella ja Pudasjärvellä.



Kuva 30. Bikarbonaatin, orgaanisen anionin ja sulfaatin merkitys Kuusamon, Taivalkosken ja Pudasjärven järvien happamuuden säätelijänä (ks. liite 5). Orgaaninen anioni on määritetty Oliverin ym. (1983) menetelmällä.

## 5 YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitettiin maaperän kemiallisen koostumuksen merkitystä Kuusamon, Pudasjärven ja Taivalkosken kuntien alueilla sijaitsevien järvien happamoitumisherkyyden kannalta. Aineistona käytettiin vesihallituksen vedenlaaturekisteristä poimittuja vedenlaatutietoja sekä Geologian tutkimuskeskuksen moreenin hienoaineksen geokemiallisen kartoituksen tuloksia. Käytössä oli yhteensä 227 järven syystäyskierron aikana kootut vedenlaatutiedot. Aineiston kokoamisessa pyrittiin alueelliseen kattavuuteen. Yli 10 km<sup>2</sup> laajuiset järvet rajattiin aineistosta. Tutkimusjärvet jaettiin hydrologisen tyyppinsä mukaisesti läpivirtaus- ja latvajärviin sekä suljettuihin järviin pinta-alojen määrittämisen ja valuma-alueiden digitoinnin yhteydessä. Näin saatu alueellinen aineisto yhdistettiin koordiaattien perusteella moreenin hienoainetietoihin. Tutkimuksessa käytettiin alumiinin, kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin analyysituloksia, jotka oli määritetty moreenin hienoaineksesta kuumalla kuningasvesiuutolla (ICP-AES).



Tutkimusalueen kallioperä koostuu Itä-Suomen ja Pudasjärven happamien kivilajien luonnehtimista graniittigneissivyöhykkeistä sekä Kuusamon liuskealueesta, jolle ovat tyypillisiä emäksiset kivilajit. Tutkimusalueen maaperää vallitsee pohjamoreeni. Soiden määrä kasvaa alueen länsiosia kohti topografian tasoittuessa.

Tutkimusalueen korkeimmat emäskationipitoisuudet sijoittuivat Kuusamon pohjoisosien emäksisten vulkaniittien, karbonaattien ja dolomiittien vallitseville kallioperäalueille. Emäskationipitoisuus oli korkea myös Kuusamon eteläosan ja Taivalkosken pohjoisosien peridotiittin, gabron ja anortosiitin muodostamilla kerrosintrusioalueilla. Vähäisimmät emäskationipitoisuudet sijoittuvat graniittigneissi-, kvartsiitti- ja graniittialueille. Alumiinia esiintyi runsaasti laajoilla alueilla, mikä johtunee kuningasvesiuutossa kokonaan tai osittain liukenevista mineraaleista, joista vapautuu myös normaalisti liukenemattomassa muodossa olevaa alumiinia. Maaperän potentiaalista happamoitumisherkkyyttä kuvattiin alumiiniekvivalenttien ja emäskationiekvivalenttisuuden suhteella. Sen mukaan maaperän happamoitumisherkkyyttä näyttäisi olevan suurin Pudasjärvellä ja Taivalkoskella ja pienin Kuusamon pohjoisosissa.

Koillismaan järvien puskurikyky osoittautui Pohjois-Suomen ja myös koko maan keskimääräisiä arvoja korkeammaksi. pH- ja alkaliniteettiä olivat läpivirtausjärvissä latvajärviä ja suljettuja järviä korkeampia. Happamoitumisherkkiä järviä oli kaikissa järvityypeissä. Happamoituneiksi järviksi voitiin määritellä vain suljettuja järviä ja latvajärviä. Emäskationisumma oli läpivirtausjärvissä muita järvityyppejä korkeampi. Happamoituneet ja happamoitumisherkät järvet keskittyivät Pudasjärven lounaisosiin ja Taivalkosken keskiosiin. Lähes kaikilla Kuusamon järvillä puskurikyky oli hyvä. Kuusamossa voitiin erottaa erilyyppisten kallioperäalueiden vaikutus veden laatuun.

Järvien alkaliniteetilla ja emäskationipitoisuudella oli voimakas positiivinen korrelaatio kaikilla järvityypeillä. Happamoituneiden ja happamoitumisherkkien järvien emäskationipitoisuudet olivat alhaisempia kuin hyvin puskuritojien järvien vastaavat pitoisuudet. Maaperän laadun vaikutuksesta vesien laatuun voitiin todeta, että happamoituneiden läpivirtaus- ja latvajärvien valuma-alueilla on vähemmän emäskationeja kuin erittäin hyvän puskurikyvyn omaavien järvien valuma-alueilla. Suljettujen järvien valuma-alueiden emäskationipitoisuuksilla ei näyttäisi olevan vaikutusta järvien vastaaviin pitoisuuksiin. Hajontaa aiheutti todennäköisesti pohjavesijärvien mahdollinen mukanaolo aineistossa.

Valuma-alueen pinta-alan ja järven pinta-alan suhteen kasvu nosti alkaliniteetin mediaaniarvoja. Hyvän puskurikyvyn omaavilla järvillä valuma-alueet olivat siis laajempia suhteessa järven kokoon kuin happamoituneilla ja happamoitumisherkillä järvillä. Orgaanisen kokonaishiilen (TOC) konsentraatiot kasvoivat selkeästi valuma-alueen pinta-alan kasvaessa järven pinta-alaan nähden. Suurimmat TOC-arvot keskittyvät pieniin järviin, joilla oli suuri valuma-alue.

Korkeimmat orgaanisen kokonaishiilen pitoisuudet sijoittuvat Pudasjärven lounaisosien suovaltaisille ja reliefiltään tasaisille alueille, missä eloperäisten maalajien osuus oli suurin. Tutkimusalueen järvien korkeimmat sulfaattipitoisuudet sijoittuvat lähes yksinomaan Kuusamoon Kitkajärvien pohjois- ja itäpuolisille alueille. Syynä korkeiden sulfaattipitoisuuksien keskittymiseen lienevät alueella sijaitsevat sulfidimalmiesiintymät.

Veden alumiinipitoisuuden ja orgaanisen aineksen määrän välillä oli selkeä riippuvuus, joten alumiini lienee maaperästä liuennutta epäorgaanista, vesistöissä orgaaniseen materiaaliin sitoutunutta alumiinia. Moreenin ja veden Al-pitoisuuksien välinen korrelaatio ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tutkimusalueella bikarbonaatti oli vallitseva anioni 72 %:ssa, orgaaninen anioni 13 %:ssa ja sulfaatti 15 %:ssa kaikista järvistä. Sulfaatti oli vallitseva anioni kaikissa happamoituneissa humusjärvissä. Orgaaninen anioni oli vallitseva suurimmassa osassa happamoitumisherkistä humusjärvistä. Humuspitoisten järvien happamoitumisherkkyys määräytyy valuma-alueen happamoitumisherkkyiden ja huuhtoutuvan orgaanisen aineksen määrän yhteisvaikutuksesta. Sulfaatti oli vallitsevana anionina kaikissa kirkasvetisissä happamoituneissa ja happamoitumisherkissä järvissä. Kirkkaiden järvien happamoitumisherkkyys määräytyy tutkimusalueella pääasiallisesti valuma-alueen maaperän happamoitumisherkkyiden ja vähäisemmässä määrin myös happamoittavan laskeuman vaikutuksesta. Pienen valuma-alueen omaavat humuspitoiset ja kirkkaat latvajärvet ja suljetut järvet osoittautuivat happamoitumisherkemmiksi kuin läpivirtausjärvet.

## KIRJALLISUUS

- Aartolahti, T. 1980. Pinnanmuodot. Julk.: Rikkinen, K. (toim.). Suomen maantiede. 2. painos. Keuruu, Otava.
- Ekholm, M. 1993. Suomen vesistöalueet. Vesi- ja Ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A, nro 126. Vesi- ja Ympäristöhallitus. 166 s.
- Eurola, S. 1994. Suoluonto Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa. Julk.: Ferin-Westerholm, P. (toim.). Ympäristön tila Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa. Vesi- ja Ympäristöhallitus, Ympäristötietokeskus. Helsinki, Painatuskeskus Oy. s. 67-70.
- Ferin-Westerholm, P. (toim) 1994. Ympäristön tila Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa. Vesi- ja Ympäristöhallitus, Ympäristötietokeskus. Helsinki, Painatuskeskus Oy. 144 s.
- Forsius, M. 1987. Suomen järvien alueellinen happamuustilanne. Vesi- ja Ympäristöhallinnon julkaisuja, nro 9, 108 s.
- Forsius, M., Kämäri, J., Kortelainen, P., Mannio, J., Verta, M. & Kinnunen, K. 1990. Statistical lake survey in Finland: Regional estimates of lake acidification. Julk.: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies K. (toim.). Acidification in Finland. Springer Verlag. p. 759-780.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S., Sevaldrud, I.S. & Brakke, D.F. 1988. Lake acidification in Norway - Present and predicted chemical status. *Ambio*, vol. 17, no. 4, p. 259-266.
- Kauppi, M. 1992. Repoveden alueen Vesistöjen perusselvitys: Veden laatu ja happamoituminen. Vesi- ja Ympäristöhallituksen julkaisuja. nro 111. 82 s.

- Kauppi, P., Anttila, P., Karjalainen-Balk, L., Kenttämies, K., Kämäri, J. & Savolainen I. 1990. Happamoituminen Suomessa, HAPRO:n loppuraportti. Ympäristöministeriö, nro 89, 89 s.
- Kontio, M. & Kähkönen, A.-M. 1991. Geochemistry and variations of the sensitivity of soils to acidification in northern Finland. *Julk: Pulkkinen, E. (toim.). Environmental geochemistry in northern Europe. Geological Survey of Finland, Special Paper 9. p. 53-60.*
- Kortelainen, P. 1986. Orgaanisen aineen osuus pintavesien happamuuteen - kirjallisuusselvitys. *Vesi- ja Ympäristöhallinnon julkaisuja. s. 86-127.*
- Kortelainen, P. & Mannio, J. 1990. Organic acidity in Finnish lakes. *Julk.: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies K. (toim.). Acidification in Finland. Springer Verlag. p. 853-854.*
- Kortelainen, P., Mannio, J., Heitto, L., Verta, M., 1990. Happamoituminen seurausilmiöineen. *Julk.: Ilmavirta, V. (toim.). Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki, Yliopistopaino. s. 134-151.*
- Kähkönen, A.-M. 1988. Kolmen lammen pH-kehitys sedimentin piilevästön kuvaamana Sevettijärvellä ja Kaamasessa. *Pro gradu-tutkielma. Oulun yliopisto, Geologian laitos. 78 s.*
- Kähkönen, A.-M. 1993. Järvien happamoitumisherkkyys ja valuma-alueiden moreenin hienoaineksen geokemia Pohjois-Suomessa. *Lisenssiaattitutkimus, Helsingin yliopisto, Geologian ja Paleontologian osasto. 72 s.*
- Kämäri, J. 1984. Suomen karujen pienvesistöjen happamoitumisherkkyys. Helsinki, Vesihallitus. Tiedotus 239. 85 s.
- Kämäri, J. 1986. Sensitivity of surface waters to acidic deposition in Finland. *Aqua. Fennica, no. 16, p. 211-219.*
- Kämäri, J. 1989. Jatkuuko vesistöjemme happamoituminen?. *Ympäristö ja Terveys 20. vsk., nro 1, s. 24-29.*
- Lahermo, P. 1970. Chemical geology of ground and surface waters in Finnish Lapland. *Bull. Com. Geol. Finlande, no. 242. 106 p.*
- Lahermo, P. 1991. Aspects of acidification of groundwaters in Finland. *Julk: Pulkkinen, E. (toim.). Environmental geochemistry in northern Europe. Geological Survey of Finland, Special Paper 9. p. 131-139.*
- Myllymaa, U. 1986. Quality of lake water and sediments and factors affecting these in the Kuusamo uplands, North-east Finland. *Publications of the water research institute, no. 69. p. 49-69.*
- Myllymaa, U. & Murtoniemi, S. 1986. Metals and nutrients in the sediments of small lakes in Kuusamo, north-eastern Finland. *Publications of the water research institute, no. 69. p. 33-48.*

Naturvårdsverket 1986. Sura och försurade vatten. Statens naturvårdsverk.  
Monitor 1986. 180 p.

Nuotio, T., Hyyppä, J. & Nylander, J. 1990. Buffering capacity of Finnish soils and its dependence on geological factors in relation to the acidification sensitivity of lakes. *Julk.: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies K. (toim.). Acidification in Finland. Springer Verlag. p. 271-286.*

Oliver, B.G., Thruman, E.M. & Malcom, R.L. 1983. The contribution of humic substances to the acidity of colored natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta 47, Journal of the Geochemical Society and the Meteoritical Society. p. 2031-2035.*

Perttunen, V. 1984. Pohjois-Suomen kallioperä. *Julk.: Silvennoinen, A. (toim.). Geologinen Pohjois-Suomi. Acta Lapponica Fenniae, nro 12. Lapin tutkimusseura r.y. s. 14-27.*

Piispanen, R. 1979. Kuusamon kallioperän pääpiirteet. *Julk: Viramo, J. (toim.). Kuusamon alueen luonnosta. Acta Universitas Ouluensis, series A, nro 68. s.12-18.*

Piispanen, R. & Myllymaa, U. 1982. Lake water geochemistry of two geologically contrasted areas in Kuusamo, north-eastern Finland. *Publications of the water research institute, no. 49, p. 64-75.*

Puomio, E-R. 1985. Järvien happamuus ja happamoitumiseherkkyys Helsingin vesipiirin alueella. *Vesihallituksen monistesarja, nro 330. 24 s.*

Pätilä, A. 1980. Ilmalevintäisten epäpuhtauksien aiheuttama vesistöjen happamoituminen. *Vesihallituksen monistesarja, nro 29. 55 s.*

Rankama, K. 1964. Suomen geologia. Kirjayhtymä, Helsinki.

Ratia, A. & Gehör, S. 1987. Jokamiehen kiviopas. Amer-yhtymä Oy Welin+Göös in kirjapaino, Espoo. 276 s.

Räisänen, M.-L. 1989. Mineraalimaan happamoituminen eräillä koealueilla teollisuuden lähiympäristössä ja tausta alueilla Suomessa. *Geologinen tutkimuskeskus, Tutkimusraportti, nro 91. 74 s.*

Rönkä, E., Uusinoka, R. & Vuorinen, A. 1980. Geochemistry of groundwater in precambrian chrystalline bedrock in Finland in relation to the chemical composition of reservoir rocks. *Publications of the water research institute, no. 38. p. 41-53.*

Seppälä, M. 1986. Geomorfologinen aluejako. *Julk: Maanmittaushallitus, Suomen Maantieteellinen Seura (toim.). Suomen Kartasto, vihko121-122. 19 s.*

Simonen, A. 1964. Kallioperä. *Julk: Rankama, K. (toim.). Suomen geologia. Helsinki, Kirjayhtymä. s. 67-69.*



Suomen Kartasto 1986. Vihko 121 Maanpinnanmuodot. Julk: Maanmittaushallitus, Suomen maantieteellinen seura (toim.). Karttakeskus, Helsinki. 122 s.

Väyrynen, H. 1954. Suomen kallioperä. Helsinki, Otava. s. 190-199.

Wahlström, E., Reinikainen, T. & Hallanaro, E.-L. 1992. Ympäristön tila Suomessa. Vesi- ja Ympäristöhallitus, Ympäristötietokeskus. Helsinki, Gaudeamus. s. 272-277.

## LIITE 1/6

**LIITE 1. KOILLISMAAN (Kuusamo, Taivalkoski, Pudasjärvi) MOREENIN  
HIENOAINEKSEN KUNINGASVESILIUKOISET ALKUAINEPITOISUUDET  
VERRATTUNA MUUN POHJOIS-SUOMEN VASTAAVIIN PITOISUUKSIIN.  
ARVOT PPM-PITOISUUKSINA.**

Alkuaine	Koillismaa				Pohjois-Suomi			
	Keskiarvo	Med	Min	Max	Keskiarvo	Med	Min	Max
Al	10675	10200	5370	24000	16100	13900	100	76200
Mg	4970	4680	2100	38000	6300	5600	100	74100
Ca	2393	2400	1310	3540	2700	2400	100	86300
K	1476	1420	535	4310	2000	1700	200	24800

Lähde:

Pohjois-Suomen arvot (Kähkönen 1993).

**LIITE 2. KEMIALLISTEN MUUTTUIJEN MEDIAANIT  
LÄPIVIRTAUSJÄRVISSÄ, LATVAJÄRVISSÄ, SULJETUISSA JÄRVISSÄ  
SEKÄ KOKO AINEISTOSSA.**

Muuttuja	Yksikkö	Läpiv. Med.	Latvaj. Med.	Sulj. Med.	Koko aineisto Med.
pH		6,9	6,8	6,0	6,8
Alkaliniteetti	μekv/l	210	170	25	170
Sähkönjohtokyky	mS/m	3,3	2,8	1,6	2,8
Väriluku	Pt mg/l	50	50	50	50
Ca*	μekv/l	155	143	50	138
K*	μekv/l	12	12	7	10
Na*	μekv/l	27	29	12	26
Mg*	μekv/l	77	69	29	64
Ca+Mg+K(*)	μekv/l	249	223	104	212
Ca+Mg+K+Na(*)	μekv/l	298	261	123	251
Al	μg/l	81	77	62	73
Fe	μg/l	315	240	120	260
Mn	μekv/l	0,7	0,6	0,7	0,7
Cl	μekv/l	31	31	25	31
COD <sub>Mn</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	9,3	9,1	7,1	9,1
NO <sub>3</sub> -N	μekv/l	0,9	0,9	1,0	0,9
NH <sub>4</sub> -N	μekv/l	0,4	0,5	0,6	0,4
SO <sub>4</sub> *	μekv/l SO <sub>4</sub>	58	55	62	57
Kokonaisfosfori	μg/l	12	12	12	12
H <sup>+</sup>	μekv/l	0,1	0,2	1,0	0,2
TOC <sup>1)</sup>	mg/l	8,1	8,0	6,7	8,0
Org. anioni <sup>2)</sup>	μekv/l	60,4	59,3	49,2	59,1
Org. anioni <sup>3)</sup>	μekv/l	34,9	33,6	6,0	30,7

\* Merisuolakorjattu arvo

1) Orgaaninen kokonaishiili:  $TOC=1,9+0,67(COD_{Mn} \text{ mg O}_2/l)$

2) Orgaaninen anioni Oliverin menetelmällä

3) Orgaaninen anioni ionitasapainolaskelmalla

**LIITE 3. KEMIAALLISTEN MUUTTUIEN VAIHTELUVÄLIT JA MEDIAANIVÄLIT LÄPIVIRTAUS- JA LATVAJÄRVILLÄ SEKÄ SULJETUISSA JÄRVILLÄ.**

Muuttuja	Yksikkö	Läpivirtausjärvet			Latvajärvet			Suljetut järvet		
		Med.	Min	Max	Med.	Min	Max	Med.	Min	Max
pH		6,9	5,7	7,8	6,8	4,8	7,9	6,0	4,5	7,2
Alkaliniteetti	µekv/l	210	10	1600	170	-20	2460	25	-40	340
Sähkönjohtokyky	mS/m	3,3	1,1	23,0	2,8	0,9	12,8	1,6	1,0	6,6
Väriluku	mg Pt/l	50	5	280	50	0	200	50	5	250
Ca*	µekv/l	155	42	1080	143	24	1489	50	13	302
K*	µekv/l	12	4	49	12	2	40	7	2	70
Na*	µekv/l	27	-53	244	29	-16	330	12	-27	76
Mg*	µekv/l	77	18	626	69	5	851	29	4	140
Ca+Mg+K*	µekv/l	249	71	1556	223	31	2377	104	21	438
Ca+Mg+K+Na*	µekv/l	298	78	1530	261	34	2400	123	17	514
Al	µg/l	81	7	310	77	5	247	62	21	220
Fe	µg/l	315	22	3700	240	18	7800	120	30	1900
Mn	µekv/l	0,7	0,1	6,9	0,6	0,04	9,8	0,7	0,2	2,9
Cl	µekv/l	31	14	164	31	14	90	25	11	88
COD <sub>Mn</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	9,3	1,7	31,0	9,1	1,0	28,5	7,1	1,1	35,7
NO <sub>3</sub> -N	µekv/l	0,9	0	20,7	0,9	0	12,9	1,0	0,07	59,3
NH <sub>4</sub> -N	µekv/l	0,4	0,07	16,4	0,5	0,07	55,0	0,6	0,1	17,9
SO <sub>4</sub> *	(SO <sub>4</sub> ) µekv/l	58	17	192	55	17	525	62	21	113
Kokonaisfosfori	µg/l	12	3	98	12	3	160	12	4	99
H <sup>+</sup>	µekv/l	0,1	0,02	2,0	0,2	0,01	15,8	1,0	0,06	31,6
TOC 1)	mg/l	8,1	3,0	22,7	8,0	2,6	21,0	6,7	2,6	25,8
Org. anioni <sup>2)</sup>	µekv/l	60,4	22,8	158,3	59,3	19,6	142,7	49,2	16,0	182,3
Org. anioni <sup>3)</sup>	µekv/l	34,9	-655,1	247,1	33,6	-100,8	268,2	6,0	-79,7	411,3

\* Merisuolakorjattu arvo

1) Orgaaninen kokonaishiili: TOC=1,9+0,67(COD<sub>Mn</sub> O<sub>2</sub> mg/l)

2) Orgaaninen anioni Oliverin menetelmällä

3) Orgaaninen anioni ionitasapainolaskelmalla



**LIITE 4. TUTKIMUSJÄRVIEN KEMIALLISTEN MUUTTUIJEN  
MEDIAANIARVOT PUDASJÄRVELLÄ, TAIVALKOSKELLA JA  
KUUSAMOSSA.**

	Yksikkö	Pudasjärvi	Taivalkoski	Kuusamo
pH		6,3	6,7	7,1
Alkaliniteetti	µekv/l	64	135	313
Sähkönjohtokyky	mS/m	2,1	2,4	4,4
Väriluku	mg Pt/l	80	50	40
Ca*	µekv/l	62,9	123,2	229,8
Mg*	µekv/l	41,4	58,1	101,5
K*	µekv/l	7,1	9,7	17,3
Na*	µekv/l	28,6	25,9	23,8
Ca+Mg+K(*)	µekv/l	111,8	195,2	379,4
Ca+Mg+K+Na(*)	µekv/l	144,3	219,1	408,5
Fe	µg/l	790	225	220
Mn	µg/l	0,8	0,5	0,8
Al	µg/l	91,5	77	65
Cl	µekv/l	33,9	28,2	31
COD <sub>Mn</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	12,4	7,5	8
TOC <sup>1)</sup>	mg/l	10,2	6,9	7,3
SO <sub>4</sub> *	(SO <sub>4</sub> ) µekv/l	45,6	54,5	67,6
NO <sub>3</sub> -N	µekv/l	1,1	0,9	0,9
NH <sub>4</sub> -N	µekv/l	0,5	0,4	0,4
H <sup>+</sup>	µekv/l	0,6	0,2	0,08
Org. anioni <sup>2)</sup>	µekv/l	25,8	40,6	20,6
Org. anioni <sup>3)</sup>	µekv/l	73,3	50,3	54,8
Kokonaisfosfori	µg/l	19	10	11

\* Merisuolakorjattu arvo

1) Orgaaninen kokonaishiili:  $TOC = 1,9 + 0,67(COD_{Mn} O_2 \text{ mg/l})$

2) Orgaaninen anioni ionitasapainolaskelmalla

3) Orgaaninen anioni Oliverin menetelmällä

**LIITE 5. JÄRVIEN KEMIAALLISTEN MUUTTUIJEN MEDIAANIT  
KOILLISMAALLA, POHJOIS-SUOMESSA JA KOKO MAASSA.  
TUTKIMUSJÄRVIEN PINTA-ALA KAIKKILLA ALUEILLA ALLE 10 KM<sup>2</sup>.**

Muuttuja	Yksikkö	Koillismaa	P.-Suomi	Koko maa
pH		6,8	6,8	6,3
Alkaliniteetti	μekv/l	170	103	75
Sähkönjohtokyky	mS/m	2,8	2,3	3,1
Kalsium Ca*	μekv/l	138,1	94	129
Kalium K*	μekv/l	9,8	7,4	12
Natrium Na*	μekv/l	26,1	34	35
Magnesium Mg*	μekv/l	63,6	53	63
Ca+Mg+K(*)	μekv/l	212,3	159	-
Ca+Mg+K+Na(*)	μekv/l	251,2	196	-
Rauta Fe	μg/l	260	88	460
Mangaani Mn	μg/l	18	12	30
Kemiallinen hapentarve (COD <sub>Mn</sub> )	mg/l O <sub>2</sub>	9,1	6,4	15
Väriluku	Pt mg/l	50	35	100
Orgaaninen kok.hiili <sup>1)</sup> (TOC)	mg/l	8	6,2	12
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> )*	μekv/l SO <sub>4</sub>	56,9	38	71
Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)	μekv/l	0,9	0,3	1,1
Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)	μekv/l	0,4	0,4	0,8
SiO <sub>2</sub>	mg/l	-	2,5	4,2
Kokonaisfosfori	μg/l	12	-	15
Kloridi Cl	μekv/l	31,0	22	25
Org. anioni <sup>2)</sup>	μekv/l	59,1	48	-
Org. anioni <sup>3)</sup>	μekv/l	30,7	50	-

\* Merisuolakorjattu arvo

1) Orgaaninen kokonaishiili:  $TOC=1,9+0,67(COD_{Mn} \text{ mg O}_2/l)$

2) Orgaaninen anioni Oliverin menetelmällä

3) Orgaaninen anioni ionitasapainolaskelmalla

Lähteet:

Pohjois-Suomen mediaaniarvot (Kähkönen 1993).

Koko maan mediaaniarvot (Forsius ym. 1990).

**LIITE 6. BIKARBONAATIN, ORGAANISEN ANIONIN JA SULFAATIN MERKITYS KUUSAMON, TAIVALKOSKEN JA PUDASJÄRVEN JÄRVIEN HAPPAMUUDEN SÄÄTELIJÄNÄ.**

